

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number **07252660 A**(43) Date of publication of application: **03.10.95**

(51) Int. Cl.

C23C 16/44
C23C 16/34
C23C 16/40
H01L 21/203
H01L 21/205

(21) Application number: **06181857**(22) Date of filing: **11.07.94**(30) Priority: **19.01.94 JP 06 18871**(71) Applicant: **RIKAGAKU KENKYUSHO**

(72) Inventor
KUMAGAI HIROSHI
TOYODA KOICHI

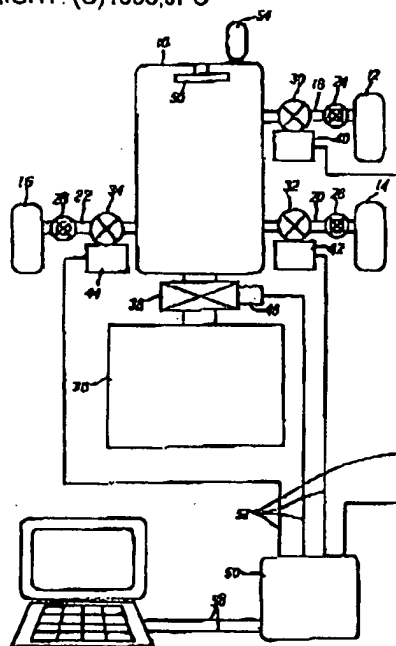
(54) PRODUCTION OF THIN FILM AND DEVICE THEREFOR**(57) Abstract:**

PURPOSE: To form a thin film uniform in thickness and film quality and having large surface area with high precision by alternately introducing a reactive vapor of an oxidizing agent or the like and a vapor of a metal or a non-metal compound into a vacuum vessel to execute adsorption and chemical reaction on the surface of a material

CONSTITUTION: The material on which the thin film is to be formed is set on a holder 56 in the vacuum vessel 10 evacuated to a prescribed pressure by a vacuum pump 36. The vapor of the oxidizing agent, a halogenating agent, a sulfidizing agent, a seleniding agent, a telluriding agent, a nitriding agent or the like and the vapor of the metal or the non-metallic compound are alternately introduced thereinto from vessels 12, 14, 16, etc., at least respectively one time, if necessary, with the change of the kind. The thin film is formed on the surface of the material by the adsorption and the chemical reaction of these vapors on the surface. In this case, the thickness of the thin film is automatically controlled in atomic dimension size by heating the material to a prescribed temp. with a heating means to exhibit the self-stoppage function of

adsorption of the vapor molecule. As a result, a multilayered film of an optical device used in hard X-ray region is formed with high precision

COPYRIGHT: (C)1995,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-252660

(43) 公開日 平成7年(1995)10月3日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
C 2 3 C 16/44		D		
16/34				
16/40				
H 0 1 L 21/203		Z 8719-4M		
21/205				

審査請求 未請求 請求項の数 8 F D (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願平6-181857

(22) 出願日 平成6年(1994)7月11日

(31) 優先権主張番号 特願平6-18871

(32) 優先日 平6(1994)1月19日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000006792

理化学研究所

埼玉県和光市広沢2番1号

(72) 発明者 熊谷 寛

埼玉県和光市広沢2番1号 理化学研究所
内

(72) 発明者 豊田 浩一

埼玉県和光市広沢2番1号 理化学研究所
内

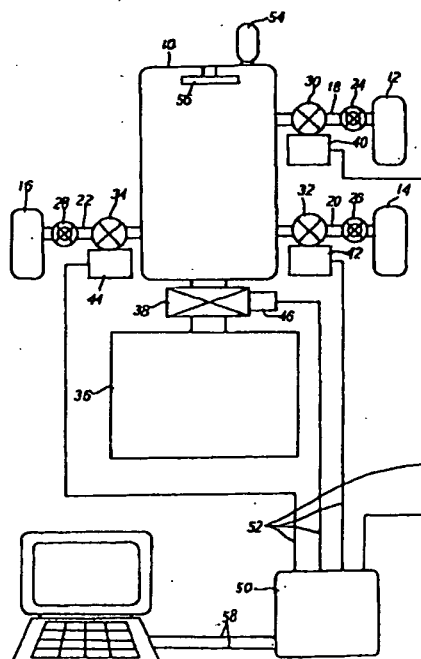
(74) 代理人 弁理士 上島 淳一

(54) 【発明の名称】 薄膜の製造方法およびその製造装置

(57) 【要約】

【目的】膜厚、膜質が大面積にわたって均一な薄膜を、硬X線領域において使用される光学素子の多層膜を作製可能な高精度で基板などの物体表面に形成することのできる薄膜の製造方法およびその製造装置を提供する。

【構成】真空容器10内に薄膜を形成すべき物体をセットし、この真空容器10内を所定の圧力以下に減圧した後、酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤の蒸気と金属化合物蒸気もしくは非金属化合物蒸気とを、交互に少なくとも1回ずつ減圧した真空容器10内に導入して物体表面で吸着および化学反応させ、物体表面に薄膜を形成する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 真空容器内に薄膜を形成すべき物体をセットし、
前記真空容器内を所定の圧力以下に減圧した後に、酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤の蒸気と金属化合物蒸気もしくは非金属化合物蒸気とを、交互に少なくとも 1 回づつ減圧した前記真空容器内に導入して前記物体表面で吸着および化学反応させ、前記物体表面に薄膜を形成することを特徴とする薄膜の製造方法。

【請求項 2】 真空容器内に薄膜を形成すべき物体をセットし、
前記真空容器内を所定の圧力以下に減圧した後に、酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤の蒸気と、金属化合物蒸気もしくは非金属化合物蒸気とを、交互に少なくとも 1 回づつ減圧した前記真空容器内に導入して前記物体表面で吸着および化学反応させ、前記物体表面に第一の薄膜を形成する第一の工程と、
前記真空容器内を所定の圧力以下に減圧した後に、酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤の蒸気と、前記金属化合物蒸気もしくは前記非金属化合物蒸気と異なる種類の金属化合物蒸気もしくは非金属化合物蒸気とを、交互に少なくとも 1 回づつ減圧した前記真空容器内に導入して前記物体の表面で吸着および化学反応させ、前記物体表面に第二の薄膜を形成する第二の工程とを、
少なくとも 1 回以上繰り返して、前記物体表面に前記第一の薄膜と前記第二の薄膜とを層状に堆積して多層膜を形成することを特徴とする薄膜の製造方法。

【請求項 3】 前記第一の工程と前記第二の工程とにおける金属化合物蒸気もしくは非金属化合物蒸気の少なくともどちらか一方の種類を、工程毎に変更して前記第一の工程と前記第二の工程とを繰り返すことにより、前記物体表面に複数の異なる種類の薄膜を層状に堆積して多層膜を形成する請求項 2 記載の薄膜の製造方法。

【請求項 4】 前記吸着および化学反応中において前記物体を所定の温度で加熱処理することにより、前記物体表面での前記酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤の蒸気および前記金属化合物蒸気もしくは非金属化合物蒸気の分子の吸着の自己停止機能を発現させ、前記物体表面に形成される薄膜の膜厚を自動的に原子寸法サイズで制御する請求項 1、2 または 3 のいずれか 1 項に記載の薄膜の製造方法。

【請求項 5】 前記第一の薄膜として、酸化剤あるいは窒化剤の蒸気と、金属化合物蒸気として銅、ニッケル、鉄、マンガンあるいはクロムの化合物蒸気とを用いて、銅、ニッケル、鉄、マンガンあるいはクロムの酸化物薄膜あるいは窒化物薄膜を形成し、前記第二の薄膜として、酸化剤あるいは窒化剤の蒸気と、金属化合物蒸気と

してスカンジウム、マグネシウム、インジウム、ベリリウムあるいはチタニウムの化合物蒸気とを用いて、スカンジウム、マグネシウム、インジウム、ベリリウムあるいはチタニウムの酸化物薄膜あるいは窒化物薄膜を形成する請求項 2 または 3 のいずれか 1 項に記載の薄膜の製造方法。

【請求項 6】 薄膜を形成すべき物体がセットされる真空容器と、

前記真空容器内を所定の圧力以下に減圧する真空ポンプと、

一もしくは二以上の酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤の蒸気を前記真空容器内へ導入するための第一の導入手段と、

金属化合物蒸気もしくは非金属化合物蒸気を前記真空容器内へ導入するための第二の導入手段と、

前記第一の導入手段に配設された第一の弁機構と、

前記第二の導入手段に配設された第二の弁機構と、

前記第一の弁機構および前記第二の弁機構を制御して、前記第一の導入手段から前記真空容器内への前記酸化

剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤の蒸気の導入および前記第二の導入手段から前記真空容器内への前記金属化合物蒸気もしくは非金属化合物蒸気の導入をそれぞれ制御する制御手段とを有することを特徴とする薄膜の製造装置。

【請求項 7】 前記第二の導入手段を前記金属化合物蒸気もしくは非金属化合物蒸気の種類毎にそれぞれ配設するとともに、前記第二の導入手段に対応して前記第二の弁機構を備えた請求項 6 記載の薄膜の製造装置。

【請求項 8】 前記真空容器内にセットされた前記物体を所定の温度に加熱する加熱手段を備えた請求項 6 または 7 のいずれか 1 項に記載された薄膜の製造装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、薄膜の製造方法およびその製造装置に関し、さらに詳細には、物体の表面に、良質な金属酸化物や非金属酸化物などの薄膜を単層で形成したり、あるいは、物体の表面に、良質な金属酸化物や非金属酸化物などの薄膜と、これら良質な金属酸化物や非金属酸化物などと異なる種類の良質な金属酸化物や非金属酸化物などの薄膜とを交互に形成し、膜厚、膜質が大面积にわたって均一な多層膜を形成する際に用いて好適な薄膜の製造方法およびその製造装置に関する。

【0002】

【従来の技術】現在、波長が約 4000 オングストローム乃至 7000 オングストロームの可視光領域はもとより、波長が約 7000 オングストローム以上の赤外線領域あるいは波長が約 100 オングストローム乃至 4000 オングストロームの紫外線領域（約 100 オングストローム乃至 1000 オングストローム：極端紫外領域、約 1000 オングストローム乃至 2000 オングストロ

ーム：真空紫外領域、約2000オングストローム乃至4000オングストローム（紫外領域）において使用することのできる光学素子が開発されており、こうした光学素子は一般的に多層膜により形成された多層膜光学素子であるため、膜厚、膜質が大面積にわたって均一な多層膜を精度よく形成する薄膜製造技術の重要性が認識されている。

【0003】また、波長が約100オングストローム以下のX線領域において使用することのできる光学素子もあり、3オングストローム乃至100オングストローム程度の波長の軟X線領域において使用される光学素子としては、軟X線用多層膜を形成した多層膜光学素子が開発されていて、こうした多層膜光学素子における軟X線用多層膜は、電子ビーム蒸着法、マグネトロン・スパッタ法、イオン・ビーム・スパッタ法などの薄膜製造技術により作成されてきた。

【0004】これらの薄膜製造技術のうち電子ビーム蒸着法は、高真空中で金属または非金属の薄片に電子ビームを照射し、当該金属または非金属の薄片を加熱、融解させて、蒸散した元素や化合物を基板に薄膜として凝着させるという薄膜製造方法である。

【0005】また、マグネトロン・スパッタ法は、金属または非金属の薄片を低気圧中でマグネトロン放電により加熱またはイオン衝撃させ、加熱による蒸発またはイオン衝撃による衝突によって原子を気体中に飛散させ、基板に薄膜として付着させる薄膜製造方法である。

【0006】さらに、イオン・ビーム・スパッタ法は、金属または非金属の薄片に、電子サイクロトロン共鳴方式などのイオン源からのイオンを照射して加熱またはイオン衝撃させ、加熱による蒸発またはイオン衝撃による衝突によって原子を気体中に飛散させ、基板に薄膜として付着させる薄膜製造方法である。

【0007】さらに、3オングストローム以下の波長の硬X線領域において使用される光学素子も存在する。ところが、硬X線領域において使用される光学素子を多層膜光学素子により実現する場合には、膜厚が1オングストローム乃至2オングストローム程度の極めて薄い薄膜を製作する必要があるが、そうした薄膜を製造するために必要とされる1オングストローム以下の厚さで膜厚を制御する高精度の膜厚制御手段はこれまで知られていなかった。

【0008】このため、硬X線領域において使用される光学素子は多層膜を形成した光学素子ではなく、硬X線領域の波長が結晶を構成する原子の原子間距離と近いことから、結晶が光学素子として使用されている。そして、こうした結晶を使用した光学素子としては、結晶モノクロメーターなどが知られている。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】上記したように、3オングストローム以下の波長の硬X線領域において使用さ

れる光学素子としては結晶が用いられてきたが、点光源から放射された硬X線を再び集光するためには結晶に適当な湾曲を持たせる必要がある。しかしながら、結晶にこうした湾曲を持たせることは極めて困難であり、結晶に代わる光学素子として、容易に湾曲した形状を得ることのできる多層膜光学素子の開発が強く望まれていた。

【0010】また、3オングストローム乃至100オングストローム程度の波長の軟X線領域において使用される多層膜光学素子においては、上記した電子ビーム蒸着法、マグネトロン・スパッタ法あるいはイオン・ビーム・スパッタ法などを用いて多層膜を製造しているため、以下のような問題点が指摘されていた。

【0011】即ち、上記した電子ビーム蒸着法、マグネトロン・スパッタ法あるいはイオン・ビーム・スパッタ法などは、微小領域からの蒸散もしくはスパッタリングにより基板上に薄膜を成膜するため、薄膜が形成される対向する基板上においては、当該微小領域から離れる周辺部へ向かうにつれて膜厚が薄くなってしまい、そのため基板上に大面積にわたって膜厚、膜質ともに均一に着膜することは極めて困難であった。

【0012】また、上記した電子ビーム蒸着法、マグネトロン・スパッタ法あるいはイオン・ビーム・スパッタ法などの堆積法では、電子ビーム蒸着法においては電子ビームの安定性が、またマグネトロン・スパッタ法においてはマグネトロン放電の安定性が、さらにイオン・ビーム・スパッタ法においてはイオン・ビームの安定性が重要であり、その安定度によって堆積中の成膜速度が変化するもので、堆積中の成膜速度を一定に維持することは困難であった。

【0013】このため、堆積している膜厚を高精度で制御するためには、in-situエリプソメータなどによって堆積中の膜厚を高精度でモニターする必要があった。

【0014】さらに、上記した電子ビーム蒸着法、マグネトロン・スパッタ法あるいはイオン・ビーム・スパッタ法などでは、蒸散もしくはスパッタリングする対象が化合物ではなくて、金属もしくは非金属元素そのものであったため、基板上に作製された多層膜の表面が容易に変質される恐れがあるという問題点があった。

【0015】また、波長が約100オングストローム以上の光（紫外線領域、可視光領域および赤外線領域）に使用される多層膜光学素子においても、より精度の高い薄膜の製造技術の開発が望まれている。

【0016】本発明は、上記したような種々の要望ならびに従来の技術の有する問題点を鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、膜厚、膜質が大面積にわたって均一な薄膜を、硬X線領域において使用される光学素子の多層膜を作製可能な高精度で基板などの物体表面に形成することのできる薄膜の製造方法およびその製造装置を提供しようとするものである。

【0017】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明による薄膜の製造方法は、真空容器内に薄膜を形成すべき物体をセットし、この真空容器内を所定の圧力以下に減圧した後に、酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤の蒸気と金属化合物蒸気もしくは非金属化合物蒸気とを、交互に少なくとも1回づつ減圧した真空容器内に導入して物体表面で吸着および化学反応させ、物体表面に薄膜を形成するようにしたものである。

【0018】上記薄膜の製造方法により物体上に多層膜を形成するには、真空容器内に多層膜を構成する薄膜を形成すべき物体を適切な温度でセットし、真空容器内を所定の圧力以下に減圧した後に、酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤の蒸気と金属化合物蒸気もしくは非金属化合物蒸気とを、交互に少なくとも1回づつ減圧した真空容器内に導入して物体表面で吸着および化学反応を起こさせ、物体表面に第一の薄膜を形成する。次に、酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤の蒸気と上記金属化合物蒸気もしくは非金属化合物蒸気と異なる種類の金属化合物蒸気もしくは非金属化合物蒸気とを、交互に少なくとも1回づつ減圧した真空容器内に導入して物体表面で吸着および化学反応を起こさせ、物体表面に第二の薄膜を形成する。

【0019】このようにして、例えば高反射率を必要とするX線領域などの所望の波長領域で異なる屈折率を有する二種類の薄膜を物体上に層状に堆積させる。そして、上記した操作を少なくとも1回以上繰り返すことにより、物体上に多層膜を形成させるものである。

【0020】また、上記した薄膜の製造方法において、薄膜を形成すべき物体を反応中適切な温度で加熱処理することにより、物体表面での酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤の蒸気および金属化合物蒸気もしくは非金属化合物蒸気分子の吸着の自己停止機能を発現させ、薄膜の膜厚を自動的に原子寸法サイズで制御することができるようにしてもよい。

【0021】なお、上記した薄膜の製造方法の実施は、室温もしくは低温において行ってよい。

【0022】一方、本発明による薄膜の製造装置は、薄膜を形成すべき物体がセットされる真空容器と、この真空容器内を所定の圧力以下に減圧する真空ポンプと、一もしくは二以上の酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤の蒸気を真空容器内へ導入するための第一の導入手段と、金属化合物蒸気もしくは非金属化合物蒸気を真空容器内へ導入するための第二の導入手段と、第一の導入手段に配設された第一の弁機構と、第二の導入手段に配設された第二の弁機構と、第一の弁機構および第二の弁機構を制御して、第一

の導入手段から真空容器内への酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤の蒸気の導入および第二の導入手段から真空容器内への金属化合物蒸気もしくは非金属化合物蒸気の導入をそれぞれ制御する制御手段とを有するようにした。

【0023】また、この薄膜の製造装置は、第二の導入手段を金属化合物蒸気もしくは非金属化合物蒸気の種類毎にそれぞれ配設するとともに、第二の導入手段に対応して第二の弁機構を備えるようにしてもよく、このように構成すると、複数種類の薄膜を物体に層状に形成して多層膜を作製することができる。

【0024】さらに、真空容器内にセットされた物体を所定の温度に加熱する加熱手段を備えるようにして、薄膜を形成すべき物体を反応中適切な温度で加熱処理することにより、物体表面での酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤の蒸気および金属化合物蒸気もしくは非金属化合物蒸気分子の吸着の自己停止機能を発現させ、薄膜の膜厚を自動的に原子寸法サイズで制御することができるようにしてもよい。

【0025】

【作用】本発明によれば、金属化合物蒸気もしくは非金属化合物蒸気により物体上に金属化合物もしくは非金属化合物を堆積させるものであるため、薄膜の膜厚、膜質が面積にわたって均一になる。

【0026】また、薄膜が金属もしくは非金属元素そのものではなく化合物であるため、物体上に形成された薄膜の表面が変質される恐れはない。

【0027】即ち、本発明によれば、交互に真空容器内に導入された金属化合物蒸気もしくは非金属化合物蒸気と酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤の蒸気とが、それぞれ物体の表面に吸着および反応し、物体の表面に金属または非金属の酸化物薄膜、ハロゲン化物薄膜、硫化物薄膜、セレン化物薄膜、テルル化物薄膜もしくは窒化物薄膜などの化合物薄膜が形成されることになる。

【0028】このようにして形成される金属または非金属の酸化物薄膜、ハロゲン化物薄膜、硫化物薄膜、セレン化物薄膜、テルル化物薄膜もしくは窒化物薄膜などの化合物薄膜は、単に金属化合物蒸気もしくは非金属化合物蒸気の導入量と酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤の蒸気の導入量、即ち、これらを交互に導入する1サイクル（図2参照）における導入量あるいは蒸気導入のサイクル数を適当に選択することによって、容易に制御することができるから、所望の厚さの金属または非金属の酸化物薄膜、ハロゲン化物薄膜、硫化物薄膜、セレン化物薄膜、テルル化物薄膜もしくは窒化物薄膜などの化合物薄膜を、原子寸法サイズの精度で物体の表面に形成することが可能になる。

10

20

30

40

50

【0029】また、各サイクルにおける金属化合物蒸気もしくは非金属化合物蒸気の導入時間と酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤の蒸気の導入時間とを制御することにより、金属化合物蒸気もしくは非金属化合物蒸気および酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤の蒸気の分子を、極めて微細な間隙に入り込むようにすることができるから、如何なる形状の物体に対しても、所望の膜厚の金属または非金属の酸化物薄膜、ハロゲン化物薄膜、硫化物薄膜、セレン化物薄膜、テルル化物薄膜もしくは窒化物薄膜などの化合物薄膜を、原子寸法レベルで形成することができる。

【0030】さらに、屈折率の異なる金属または非金属の酸化物薄膜、ハロゲン化物薄膜、硫化物薄膜、セレン化物薄膜、テルル化物薄膜もしくは窒化物薄膜などの化合物薄膜を交互に堆積することによって、所望の波長で高反射率の得られる多層膜を原子寸法レベルで形成することができるので、硬X線用の多層膜光学素子の製造が可能となる。

【0031】さらに、多層膜を形成すべき物体を反応中適切な温度で加熱処理することにより、表面での酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤の蒸気および金属化合物蒸気もしくは非金属化合物蒸気の分子の吸着の自己停止機能を発現させると、膜厚を自動的に原子寸法サイズで制御することができる。そのため、薄膜製造時において、*in-situ* エリブソメータなどによって高精度に膜厚をモニターする必要がない。

【0032】従って、本発明によれば、膜厚を原子寸法サイズの高精度で制御して、膜厚、膜質が大面積にわたって均一な薄膜を形成することができるので、従来不可能であった直入射光学系を構成することができ、X線顕微鏡、X線レーザー、シンクロトロン放射光、プラズマ計測あるいはX線リソグラフィなどに用いる高反射率を有する大面積の多層膜光学素子を製造することが可能になる。

【0033】また、斜め入射においても、多層膜の干渉効果の入射角依存性を利用した反射型フィルターや、偏光特性を利用した偏光素子の製造も可能になる。

【0034】さらに、フリー・スタンディング状態にすることによって、透過型の光学素子の製造も可能になる。

【0035】特に、上記において、酸化剤あるいは窒化剤の蒸気と、金属化合物蒸気として銅、ニッケル、鉄、マンガンあるいはクロムの化合物蒸気とを用いて、銅、ニッケル、鉄、マンガンあるいはクロムの酸化物薄膜あるいは窒化物薄膜を形成し、また、酸化剤あるいは窒化剤の蒸気と、金属化合物蒸気としてスカンジナビウム、マグネシウム、インジウム、ベリリウムあるいはチタニウムの化合物蒸気とを用いて、スカンジナビウム、マグ

ネシウム、インジウム、ベリリウムあるいはチタニウムの酸化物薄膜あるいは窒化物薄膜を形成し、これら銅、ニッケル、鉄、マンガンあるいはクロムの酸化物薄膜あるいは窒化物薄膜のグループからいずれかを選択し、スカンジナビウム、マグネシウム、インジウム、ベリリウムあるいはチタニウムの酸化物薄膜あるいは窒化物薄膜のグループからいずれかを選択して組み合わせて（組み合わせとしては、銅、ニッケル、鉄、マンガン、クロムの酸化物薄膜（5種類）と銅、ニッケル、鉄、マンガン、クロムの窒化物薄膜（5種類）とからなるグループ（全部で10種類（=5種類+5種類））からいずれか一つ選択し、スカンジナビウム、マグネシウム、インジウム、ベリリウム、チタニウムの酸化物薄膜（5種類）とスカンジナビウム、マグネシウム、インジウム、ベリリウム、チタニウムの窒化物薄膜（5種類）とからなるグループ（全部で10種類（=5種類+5種類））からいずれか一つ選択して、それらを組み合わせればよいので、全部で「100種類（=10種類×10種類）」ある。）、多層膜を形成することにより、100オングストローム以下の軟X線波長での多層膜ミラー、フィルター、偏光素子あるいはニュートロン素子に用いて好適な多層膜を形成することができる。

【0036】

【実施例】以下、図面に基づいて、本発明による薄膜の製造方法およびその製造装置の実施例を詳細に説明するものとする。

【0037】図1には、本発明による薄膜の製造装置の一実施例が示されている。この薄膜の製造装置は、内部が真空状態に維持される真空容器10と、第一の金属化合物蒸気または非金属化合物蒸気を収容する第一の容器12と、第一の容器12内に収容された金属化合物蒸気または非金属化合物蒸気と異なる種類の第二の金属化合物蒸気または非金属化合物蒸気を収容する第二の容器14と、酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤の蒸気を収容する第三の容器16とを備えている。

【0038】これら第一の容器12、第二の容器14ならびに第三の容器16と真空容器10とは、ステンレスからなる蒸気供給管18、20、22によりそれぞれ連通可能に接続されている。

【0039】また、蒸気供給管18、20、22には、それぞれ流量制御弁24、26、28および電磁弁30、32、34が設けられている。

【0040】一方、真空容器10には、真空ポンプ36がゲート・バルブ38を介して接続されている。

【0041】さらに、電磁弁30、32、34およびゲート・バルブ38には、それぞれアクチュエータ40、42、44、46が設けられてい。そして、これらのアクチュエータ40、42、44、46は、コンピュータ48によって開閉制御される電磁弁30、32、34お

よびゲート・バルブ 38 の駆動ユニット 50 と接続ケーブル 52 によって接続され、コンピュータ 48 によって指示される所定のタイミングで、電磁弁 30、32、34 およびゲート・バルブ 38 をそれぞれ開閉する。

【0042】なお、符号 54 は真空計であり、符号 56 は薄膜を形成すべき物体を保持するためのホルダーであり、符号 58 はコンピュータ 48 と駆動ユニット 50 とを接続するための接続ケーブルである。

【0043】以上のように構成された薄膜の製造装置によって、物体表面に金属または非金属の酸化物薄膜、ハロゲン化物薄膜、硫化物薄膜、セレン化物薄膜、テルル化物薄膜もしくは窒化物薄膜などの化合物薄膜により構成される多層膜を形成する場合には、まず多層膜を構成する薄膜を形成すべき物体を、真空容器 10 内にセットする。この際に、物体の形状に応じて、当該物体をホルダー 56 に保持するようにしても良いし、あるいは、単に物体を真空容器 10 内に載置するようにしてもよい。

【0044】次いで、ゲート・バルブ 38 を開き、真空ポンプ 36 によって真空容器 10 内の圧力を 10^{-3} Pa 以下に減圧する。なお、真空容器 10 内の圧力は、真空計 54 によって測定する。

【0045】その後、多層膜を構成する薄膜として第一の薄膜および第二の薄膜を作製することになる。以下に、第一の薄膜および第二の薄膜の作製操作を図 1 ならびに図 2 を参照しながら説明するとともに、第一の薄膜および第二の薄膜を層状に堆積させて多層膜を形成する操作に関して説明する。

【0046】【第一の薄膜の作製操作：第一の工程】まず、電磁弁 30 を開き、第一の容器 12 に収容されている第一の金属化合物蒸気または非金属化合物蒸気を、真空容器 10 内の圧力が 10^{-3} Pa 以上になるまで導入し、電磁弁 30 を所定時間開いたままの状態で保持する。これにより、物体の表面に第一の金属化合物蒸気または非金属化合物蒸気分子が吸着する。

【0047】次いで、電磁弁 30 を閉じた後に、真空ポンプ 36 によって真空容器 10 内の圧力が 10^{-3} Pa 以下になるまで第一の金属化合物蒸気または非金属化合物蒸気を排気する。

【0048】真空容器 10 内の圧力が 10^{-3} Pa 以下になると、電磁弁 34 を開き、第三の容器 16 に収容されている酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤の蒸気を、真空容器 10 内の圧力が 10^{-3} Pa 以上になるまで導入し、電磁弁 34 を所定時間開いたままの状態で保持する。これにより、物体の表面に酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤の蒸気分子が吸着する。

【0049】ここにおいて、物体の表面には、既に第一の金属化合物蒸気または非金属化合物蒸気分子が吸着しているから、酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤の蒸気分子の吸着に

より、表面での化学反応が生じ、物体の表面に金属もしくは非金属の酸化物薄膜、ハロゲン化物薄膜、硫化物薄膜、セレン化物薄膜、テルル化物薄膜もしくは窒化物薄膜などの化合物薄膜（第一の薄膜）が形成される。

【0050】次いで、電磁弁 34 を閉じた後に、真空ポンプ 36 によって真空容器 10 内の圧力が 10^{-3} Pa 以下になるまで酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤の蒸気を排気する。

【0051】以上により、第一の薄膜作製の工程たる第一の工程の 1 サイクルが終了し、必要とされる第一の薄膜の膜厚に応じて、上記第一の工程を複数サイクル数繰り返して行う。

【0052】上記のようにして形成された第一の薄膜の膜厚は、単に真空容器 10 への第一の金属化合物蒸気または非金属化合物蒸気の導入量および酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤の蒸気の導入量、即ち、これらを交互に導入する 1 サイクルにおける導入量あるいは蒸気導入のサイクル数を適当に選択して制御することにより、原子寸法サイズの精度で所望の厚さに制御できるようになる。

【0053】また、各サイクルにおける第一の金属化合物蒸気または非金属化合物蒸気の導入時間と酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤の蒸気の導入時間とを制御することにより、第一の金属化合物蒸気または非金属化合物蒸気および酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤の蒸気分子が、物体の極めて微細な間隙にも入り込むようにすることができるから、如何なる形状、例えば、湾曲した形状などの物体に対しても、第一の薄膜を原子寸法サイズの精度で所望の膜厚に制御して形成することができるようになる。

【0054】また、後に詳述するように、物体を反応中適切な温度で加熱処理することにより、表面での酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤の蒸気および第一の金属化合物蒸気もしくは非金属化合物蒸気分子の吸着の自己停止機能を発現でき、膜厚を自動的に原子寸法サイズの精度で制御することができる。

【0055】なお、上記した第一の工程のみを行って物体の表面に第一の薄膜のみを形成すると、物体の表面に単層の薄膜が形成されることになる。

【0056】【第二の薄膜の作製操作：第二の工程】次に、上記のようにして作製した第一の薄膜の表面に付着される第二の薄膜の製造に関して説明する。

【0057】真空容器 10 内の圧力が 10^{-3} Pa 以下になると、電磁弁 32 を開き、第二の容器 14 に収容されている第二の金属化合物蒸気または非金属化合物蒸気を、真空容器 10 内の圧力が 10^{-3} Pa 以上になるまで導入し、電磁弁 32 を所定時間開いたままの状態で保持する。これにより、物体の表面に第二の金属化合物蒸気

または非金属化合物蒸気分子が吸着する。

【0058】次いで、電磁弁32を閉じた後に、真空ポンプ36によって真空容器10内の圧力が 10^{-1} Pa以下になるまで第二の金属化合物蒸気または非金属化合物蒸気を排気する。

【0059】真空容器10内の圧力が 10^{-1} Pa以下になると、電磁弁34を開き、第三の容器16に収容されている酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤の蒸気を、真空容器10内の圧力が 10^{-1} Pa以上になるまで導入し、電磁弁34を所定時間開いたままの状態にて保持する。これにより、物体の表面に酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤の蒸気分子が吸着する。

【0060】ここにおいて、物体の表面には、既に第二の金属化合物蒸気または非金属化合物蒸気分子が吸着しているから、酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤の蒸気分子の吸着により、表面での化学反応が生じ、物体の表面に第一の薄膜（第一の金属もしくは非金属の酸化物薄膜、ハロゲン化物薄膜、硫化物薄膜、セレン化物薄膜、テルル化物薄膜もしくは窒化物薄膜などの化合物薄膜）とは異なる種類の第二の金属もしくは非金属の酸化物薄膜、ハロゲン化物薄膜、硫化物薄膜、セレン化物薄膜、テルル化物薄膜もしくは窒化物薄膜などの化合物薄膜（第二の薄膜）が形成される。

【0061】次いで、電磁弁34を閉じた後に、真空ポンプ36によって真空容器10内の圧力が 10^{-1} Pa以下になるまで酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤の蒸気を排気する。

【0062】以上により、第二の薄膜作製の工程たる第二の工程の1サイクルが終了し、必要とされる第二の薄膜の膜厚に応じて、上記第二の工程を複数サイクル数繰り返す。

【0063】上記のようにして形成された第二の薄膜の膜厚は、単に真空容器10への第二の金属化合物蒸気または非金属化合物蒸気の導入量および酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤の蒸気の導入量、即ち、これらを交互に導入する1サイクルにおける導入量あるいは蒸気導入のサイクル数を適当に選択して制御することにより、原子寸法サイズの精度で所望の厚さに制御できるようになる。

【0064】また、各サイクルにおける第二の金属化合物蒸気または非金属化合物蒸気の導入時間と酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤の蒸気の導入時間とを制御することにより、第二の金属化合物蒸気または非金属化合物蒸気および酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤の蒸気分子が、物体の極めて微細な間隙にも入り込むようにすることができるから、如何なる形状、例えば、湾曲した形状などの物体に対しても、第二

の薄膜を原子寸法サイズの精度で所望の膜厚に制御して形成することができるようになる。

【0065】また、後に詳述するように、物体を反応中適切な温度で加熱処理することにより、表面での酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤の蒸気および第二の金属化合物蒸気もしくは非金属化合物蒸気分子の吸着の自己停止機能を発現でき、第二の薄膜の膜厚を自動的に原子寸法サイズの精度で制御することができる。

【0066】〔第一の薄膜と第二の薄膜との交互堆積〕次に、上記のようにして作製した第一の薄膜と第二の薄膜とを、交互に堆積させる操作について説明する。

【0067】上記した第一の薄膜の作製操作の第一の工程と上記した第二の薄膜の作製操作の第二の工程とを交互に繰り返すことにより、屈折率の異なる金属または非金属の酸化物薄膜、ハロゲン化物薄膜、硫化物薄膜、セレン化物薄膜、テルル化物薄膜もしくは窒化物薄膜などの化合物薄膜を交互に堆積でき、所望の波長で高反射率の得られる光学素子用の多層膜が得られる。しかも、多層膜の膜厚を原子寸法レベルで制御して形成することができるので、波長3オングストローム以下の硬X線用の多層膜光学素子に使用可能な多層膜を作製することができるようになる。

【0068】次に、実験例を説明することとする。

【0069】〔酸化アルミニウム薄膜の作製および酸化アルミニウム薄膜の自己停止機能〕まず、第一の金属もしくは非金属の酸化物薄膜、ハロゲン化物薄膜、硫化物薄膜、セレン化物薄膜、テルル化物薄膜もしくは窒化物薄膜などの化合物薄膜として、硬X線用光学素子に使用可能な多層膜の第一の薄膜を構成する酸化アルミニウム薄膜の作製および酸化アルミニウム薄膜の自己停止機能に関して説明する。

【0070】有機溶剤、純水の順に超音波洗浄し、さらに4.7重量%の弗酸に15秒間浸し超純水で洗い流すことにより洗浄を行った、直径200mm、長さ300mmのSUS316製の円筒容器（真空容器10）内に、乾燥窒素を用いて乾燥させた（100）面方位のシリコン基板（薄膜を形成する物体としての基板）をセットし、200リットル/秒の真空ポンプ36を用いて、多層膜の第一の薄膜を構成する酸化アルミニウム薄膜を形成した。

【0071】まず、真空ポンプ36により、真空容器10内を「 1.3×10^{-1} Pa」にまで減圧し、その後、第一の容器12から真空容器10内にトリメチルアルミニウム（TMA）蒸気を1秒間導入して、真空容器10内の圧力を「 1.3×10^{-1} Pa」に上昇させたあと、真空ポンプ36により2秒間排気して真空容器10内を「 1.3×10^{-1} Pa」にまで減圧する。

【0072】さらに、第三の容器16から真空容器10内に過酸化水素水蒸気を1秒間導入して、真空容器10

内の圧力を「 $1.3 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ 」に上昇させた後に、真空ポンプ36により2秒間排気して真空容器10内を「 $1.3 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ 」にまで減圧する。

【0073】上記サイクルを繰り返したところ、15分間で150サイクルの酸化アルミニウム薄膜が形成されたことが、*in-situ*エリブソメータの解析から判明した。

【0074】図3に、酸化アルミニウム薄膜の成長速度の基板温度依存性を示す。基板は赤外線加熱装置によって所定の温度に加熱した。図3に示されているように、基板温度 (T_{sub}) が室温から750°Cまでにわたって、成長速度 (Growth

【0075】Rate) がほぼ0.1nm/cycleと一定になることが判明した。成長速度がほぼ一定になることは、幅広い基板温度に対して原料の吸着過程に自己停止機能があることを示しており、成長速度が表面での熱分解によって支配されていないことを示している。

【0076】また、図4には、観察開始2分後にTMA蒸気の導入を開始し、その後TMA蒸気と過酸化水素水蒸気とを1分毎に交互に20秒間ずつ導入した場合(図5(A)参照)における膜厚の変化Aと、TMA蒸気のみを2分毎に20秒間ずつ導入した場合(図5(B)参照)における膜厚の変化Bとを、*in-situ*エリブソメータを用いて観察した結果が示されている。

【0077】この図4に示されているように、変化AにおいてはTMA蒸気の導入時に膜厚増加の大きなジャンプが見られるが、変化Bにおいては薄膜の厚さがほぼ一定である。

【0078】即ち、TMAは過酸化水素水と化合することにより膜厚を増加できるが、TMAのみでは自己停止機能が働いて、自己停止機能が働いた時点で膜厚の堆積が禁止されていることを示している。

【0079】〔酸化チタン薄膜の作製および酸化チタン薄膜の自己停止機能〕次に、第二の金属もしくは非金属の酸化物薄膜、ハロゲン化物薄膜、硫化物薄膜、セレン化物薄膜、テルル化物薄膜もしくは窒化物薄膜などの化合物薄膜として、硬X線用光学素子に使用可能な多層膜の第二の薄膜を構成する酸化チタン薄膜の作製および酸化チタン薄膜の自己停止機能に関して説明する。

【0080】有機溶剤、純水の順に超音波洗浄し、さらに4.7重量%の弗酸に15秒間浸し超純水で洗い流すことにより洗浄を行った、直径200mm、長さ300mmのSUS316製の円筒容器(真空容器10)内に、乾燥窒素を用いて乾燥させた(100)面方位のシリコン基板(薄膜を形成する物体としての基板)をセットし、基板温度を300°C乃至500°Cにして、200リットル/秒の真空ポンプ36を用いて、多層膜の第二の薄膜を構成する酸化チタン薄膜を形成した。

【0081】まず、真空ポンプ36により、真空容器10内を「 $1.3 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ 」にまで減圧し、その後

に、第二の容器14から真空容器10内にテトラクロロチタン蒸気を1秒間導入して、真空容器10内の圧力を「 $1.3 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ 」に上昇させたあと、真空ポンプ36により2秒間排気して真空容器10内を「 $1.3 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ 」にまで減圧する。

【0082】さらに、第三の容器16から真空容器10内に過酸化水素水蒸気を1秒間導入して、真空容器10内の圧力を「 $1.3 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ 」に上昇させた後に、真空ポンプ36により2秒間排気して真空容器10内を「 $1.3 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ 」にまで減圧する。

【0083】上記サイクルを繰り返したところ、15分間で150サイクルの酸化チタン薄膜が形成されたことが、*in-situ*エリブソメータの解析から判明した。

【0084】図6に、酸化チタン薄膜の成長速度の基板温度依存性を示す。基板は赤外線加熱装置によって、所定の温度に加熱した。基板温度が室温から上昇するに従って成長速度は大きくなり、340°C乃至490°C付近にわたって、成長速度がほぼ0.1nm/cycleと一定になることが判明した。340°C乃至490°C付近の基板温度に対して、原料の吸着過程に自己停止機能があることは明かである。このとき、632.8nmでの屈折率は2.2であった。さらに基板温度を上げると、成長速度が急激に減少した。これは基板温度の上昇により、表面における吸着物質の被覆率が減少したためである。

【0085】〔自己停止機能による多層膜の形成〕次に、上記した吸着の自己停止機能を利用して、第一の薄膜と第二の薄膜とを交互に作製することによる多層膜の製造に関して説明する。

【0086】有機溶剤、純水の順に超音波洗浄し、さらに4.7重量%の弗酸に15秒間浸し超純水で洗い流すことにより洗浄を行った、直径200mm、長さ300mmのSUS316製の円筒容器(真空容器10)内に、乾燥窒素を用いて乾燥させた(100)面方位のシリコン基板(薄膜を形成する物体としての基板)をセットし、基板温度を390°Cにして、200リットル/秒の真空ポンプ36を用いて、酸化アルミニウム薄膜と酸化チタン薄膜とを交互に300層重ねた硬X線用の多層膜を形成した。

【0087】まず、真空ポンプ36により、真空容器10内を「 $1.3 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ 」にまで減圧し、その後に、第一の容器12から真空容器10内にトリメチルアルミニウム(TMA)蒸気を1秒間導入して、真空容器10内の圧力を「 $1.3 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ 」に上昇させたあと、真空ポンプ36により2秒間排気して真空容器10内を「 $1.3 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ 」にまで減圧した。

【0088】さらに、第三の容器16から真空容器10内に過酸化水素水蒸気を1秒間導入して、真空容器10内の圧力を「 $1.3 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ 」に上昇させた後に、

真空ポンプ36により2秒間排気して真空容器10内を「 1.3×10^{-4} Pa」にまで減圧した。

【0089】次に、第二の容器14から真空容器10内にテトラクロロチタン蒸気を1秒間導入して、真空容器10内の圧力を「 1.3×10^{-4} Pa」に上昇させたあと、真空ポンプ36により2秒間排気して真空容器10内を「 1.3×10^{-4} Pa」にまで減圧した。

【0090】さらに、第三の容器16から真空容器10内に過酸化水素水蒸気を1秒間導入して、真空容器10内の圧力を「 1.3×10^{-4} Pa」に上昇させた後に、真空ポンプ36により2秒間排気して真空容器10内を「 1.3×10^{-4} Pa」にまで減圧した。

【0091】上記サイクルを300回繰り返したところ、30分間で膜厚693オングストローム、屈折率1.90、1サイクル当たりの膜厚2.31オングストロームの硬X線用の多層膜を形成できた。

【0092】なお、物体に形成することのできる化合物薄膜は、上記したものに限定されるものではなく、図7に例示しているように、酸化物薄膜として24種類、ハロゲン化物薄膜として6種類、硫化物薄膜として1種類、セレン化物薄膜として1種類、テルル化物薄膜として1種類、窒化物薄膜として24種類などの化合物薄膜が形成可能である。

【0093】また、図8乃至図37に、薄膜を形成させる金属化合物と、薄膜を形成させる酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤と、基板（薄膜を形成させる物体）とに関して、図7に示す各化合物薄膜を形成する際において使用可能な組み合わせの例を示す。

【0094】特に、酸化剤あるいは窒化剤と、薄膜を形成させる金属化合物として銅、ニッケル、鉄、マンガンあるいはクロムの化合物とを用いて、銅、ニッケル、鉄、マンガンあるいはクロムの酸化物薄膜あるいは窒化物薄膜を形成し、また、酸化剤あるいは窒化剤と、薄膜を形成させる金属化合物としてスカンジウム、マグネシウム、インジウム、ベリリウムあるいはチタニウムの化合物とを用いて、スカンジウム、マグネシウム、インジウム、ベリリウムあるいはチタニウムの酸化物薄膜あるいは窒化物薄膜を形成し、これら銅、ニッケル、鉄、マンガンあるいはクロムの酸化物薄膜あるいは窒化物薄膜のグループからいずれかを選択し、スカンジウム、マグネシウム、インジウム、ベリリウムあるいはチタニウムの酸化物薄膜あるいは窒化物薄膜のグループからいずれかを選択して組み合わせて（組み合わせとしては、銅、ニッケル、鉄、マンガン、クロムの酸化物薄膜（5種類）と銅、ニッケル、鉄、マンガン、クロムの窒化物薄膜（5種類）とからなるグループ（全部で10種類（=5種類+5種類））からいずれか一つ選択し、スカンジウム、マグネシウム、インジウム、ベリリウム、チタニウムの酸化物薄膜（5種類）とスカン

ジニウム、マグネシウム、インジウム、ベリリウム、チタニウムの窒化物薄膜（5種類）とからなるグループ（全部で10種類（=5種類+5種類））からいずれか一つ選択して、それらを組み合わせればよいので、全部で「100種類（=10種類×10種類）」ある。）、多層膜を形成することにより、100オングストローム以下の軟X線波長での多層膜ミラー、フィルター、偏光素子あるいはニュートロン素子に用いて好適な多層膜を形成することができる。

10 【0095】

【発明の効果】本発明は、以上説明したように構成されているので、以下に記載されるような効果を奏する。

【0096】膜厚、膜質が大面积にわたって均一な薄膜を、硬X線領域において使用される光学素子の多層膜を作製可能な高精度、即ち、原子寸法サイズの精度で基板上に形成することのできる薄膜の製造方法およびその製造装置を提供することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

20 【図1】本発明の一実施例による薄膜の製造装置を示す概略構成説明図である。

【図2】第一の工程および第二の工程における1サイクルを示すタイミング・チャートである。

【図3】酸化アルミニウム薄膜の成長速度の基板温度依存性を示すグラフである。

【図4】観察開始2分後にTMA蒸気の導入を開始するとともに、その後TMA蒸気と過酸化水素水蒸気とを1分毎に交互に20秒間ずつ導入した場合における膜厚の変化Aと、TMA蒸気のみを2分毎に20秒間ずつ導入した場合における膜厚の変化Bとを示すグラフである。

30 【図5】（A）は図4における変化Aの際のTMA蒸気および過酸化水素水蒸気の導入のタイミングを示すタイミング・チャートであり、（B）は図4における変化Bの際のTMA蒸気の導入のタイミングを示すタイミング・チャートである。

【図6】酸化チタン薄膜の成長速度の基板温度依存性を示すグラフである。

40 【図7】本発明によって形成可能な化合物薄膜として、酸化物薄膜を19種類、ハロゲン化物薄膜を6種類、硫化物薄膜を1種類、セレン化物薄膜を1種類、テルル化物薄膜を1種類それぞれ例示して示す表である。

【図8】薄膜を形成させる金属化合物と、薄膜を形成させる酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤と、基板（薄膜を形成させる物体）とに関して、図7に示す各化合物薄膜を形成する際において使用可能な組み合わせの例を示す表である。

50 【図9】薄膜を形成させる金属化合物と、薄膜を形成させる酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤と、基板（薄膜を形成させる物体）とに関して、図7に示す各化合物薄膜を形成する際において使用可能な組み合わせの例を示す表である。

【図20】薄膜を形成させる金属化合物と、薄膜を形成させる酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤と、基板（薄膜を形成させる物体）とに関して、図7に示す各化合物薄膜を形成する際において使用可能な組み合わせの例を示す表である。

【図 21】薄膜を形成させる金属化合物と、薄膜を形成させる酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤と、基板（薄膜を形成させる物体）とに関して、図 7 に示す各化合物薄膜を形成する際において使用可能な組み合わせの例を示す表である。

【図 2 2】薄膜を形成させる金属化合物と、薄膜を形成させる酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤と、基板（薄膜を形成させる物体）とに関して、図 7 に示す各化合物薄膜を形成する際において使用可能な組み合わせの例を示す表である。

【図 2 3】薄膜を形成させる金属化合物と、薄膜を形成させる酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤と、基板（薄膜を形成させる物体）とに関して、図 7 に示す各化合物薄膜を形成する際において使用可能な組み合わせの例を示す表である。

【図24】薄膜を形成させる金属化合物と、薄膜を形成させる酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤と、基板（薄膜を形成させる物体）とに関して、図7に示す各化合物薄膜を形成する際において使用可能な組み合わせの例を示す表である。

【図２５】薄膜を形成させる金属化合物と、薄膜を形成させる酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤と、基板（薄膜を形成させる物体）とに関して、図７に示す各化合物薄膜を形成する際において使用可能な組み合わせの例を示す表である。

【図２６】薄膜を形成させる金属化合物と、薄膜を形成させる酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤と、基板（薄膜を形成させる物体）とに関して、図７に示す各化合物薄膜を形成する際において使用可能な組み合わせの例を示す表である。

【図 27】薄膜を形成させる金属化合物と、薄膜を形成させる酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤と、基板（薄膜を形成させる物体）とに関して、図 7 に示す各化合物薄膜を形成する際において使用可能な組み合わせの例を示す表である。

【図 28】薄膜を形成させる金属化合物と、薄膜を形成させる酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤と、基板（薄膜を形成させる物体）とに関して、図 7 に示す各化合物薄膜を形成する際において使用可能な組み合わせの例を示す表である。

【図29】薄膜を形成させる金属化合物と、薄膜を形成させる酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤と、基板（薄膜を形成させる物体）とに関して、図7に示す各化合物薄膜を形成する際において使用可能な組み合わせの例を示す表である。

【図30】薄膜を形成させる金属化合物と、薄膜を形成させる酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤と、基板（薄膜を形成させる物体）とに関して、図7に示す各化合物薄膜を形成する際において使用可能な組み合わせの例を示す表である。

【図31】薄膜を形成させる金属化合物と、薄膜を形成させる酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤と、基板（薄膜を形成させる物体）とに関して、図7に示す各化合物薄膜を形成する際において使用可能な組み合わせの例を示す表である。

【図32】薄膜を形成させる金属化合物と、薄膜を形成させる酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤と、基板（薄膜を形成させる物体）とに関して、図7に示す各化合物薄膜を形成する際において使用可能な組み合わせの例を示す表である。

【図33】薄膜を形成させる金属化合物と、薄膜を形成させる酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤と、基板（薄膜を形成させる物体）とに関して、図7に示す各化合物薄膜を形成する際において使用可能な組み合わせの例を示す表である。

【図34】薄膜を形成させる金属化合物と、薄膜を形成させる酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤と、基板（薄膜を形成させる物体）とに関して、図7に示す各化合物薄膜を形成する際において使用可能な組み合わせの例を示す表である。

【図35】薄膜を形成させる金属化合物と、薄膜を形成させる酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤と、基板（薄膜を形成させる物*

＊体）とに関して、図7に示す各化合物薄膜を形成する際において使用可能な組み合わせの例を示す表である。

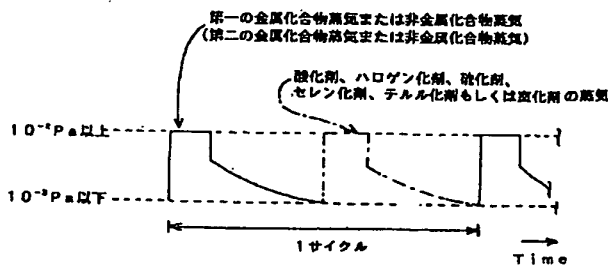
【図36】薄膜を形成させる金属化合物と、薄膜を形成させる酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤と、基板（薄膜を形成させる物体）とに関して、図7に示す各化合物薄膜を形成する際において使用可能な組み合わせの例を示す表である。

【図37】薄膜を形成させる金属化合物と、薄膜を形成させる酸化剤、ハロゲン化剤、硫化剤、セレン化剤、テルル化剤もしくは窒化剤と、基板（薄膜を形成させる物体）とに関して、図7に示す各化合物薄膜を形成する際において使用可能な組み合わせの例を示す表である。

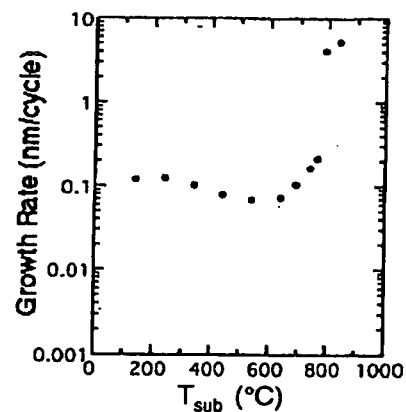
【符号の説明】

10	真空容器
12	第一の容器
14	第二の容器
16	第三の容器
18、20、22	蒸気供給管
24、26、28	流量制御弁
30、32、34	電磁弁
36	真空ポンプ
38	ゲート・バルブ
40、42、44、46	アクチュエータ
48	コンピュータ
50	駆動ユニット
52、58	接続ケーブル
54	真空計
56	ホルダー

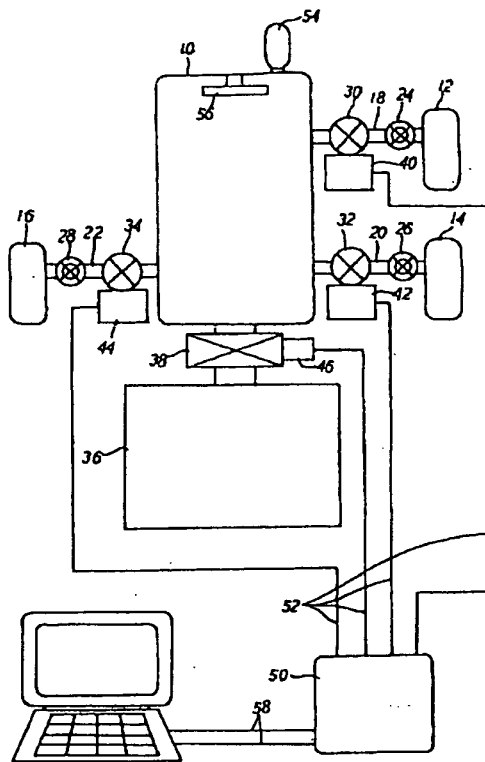
【図2】



【図3】

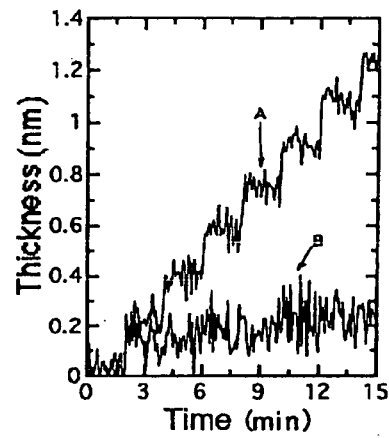


【図1】

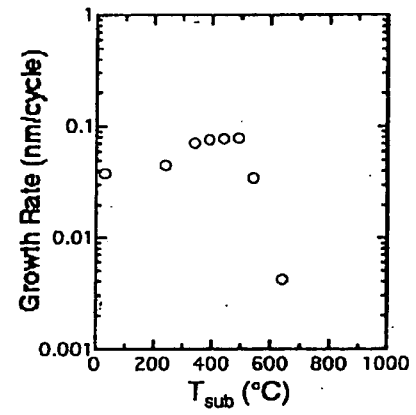


【図4】

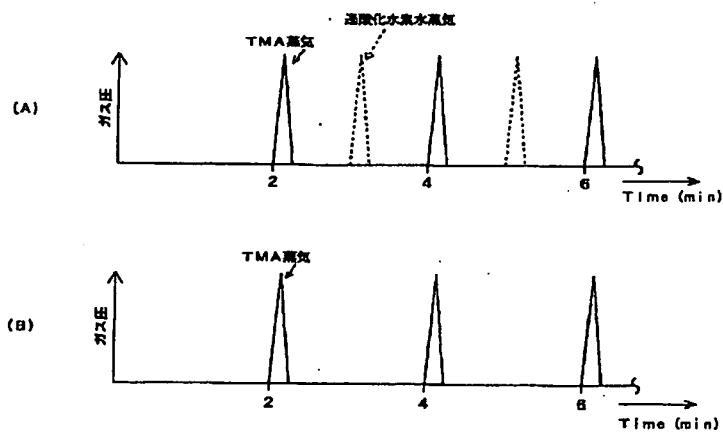
D#11221F(20TMA/40/20H2O2/40)



【図6】



【図5】



【図7】

A. 酸化物薄膜		C. 硫化物薄膜	
1. [酸化アルミニウム]		1. [硫化亜鉛]	
2. [酸化シリコン]		D. セレン化物薄膜	
3. [酸化イットリウム]		1. [セレン化亜鉛]	
4. [酸化ハフニウム]		E. テルル化物薄膜	
5. [酸化スカンジウム]		1. [テルル化亜鉛]	
6. [酸化チタン]			
7. [酸化マグネシウム]		F. 窒化物薄膜	
8. [酸化ケイ素]		1. [窒化アルミニウム]	
9. [酸化ベリリウム]		2. [窒化シリコン]	
10. [酸化ビスマス]		3. [窒化イットリウム]	
11. [酸化ガリウム]		4. [窒化ハフニウム]	
12. [酸化ゲルマニウム]		5. [窒化スカンジウム]	
13. [酸化インジウム]		6. [窒化チタン]	
14. [酸化鉛]		7. [窒化マグネシウム]	
15. [酸化アンチモン]		8. [窒化ケイ素]	
16. [酸化亜鉛]		9. [窒化ベリリウム]	
17. [酸化タンタム]		10. [窒化ビスマス]	
18. [酸化モリブデン]		11. [窒化ガリウム]	
19. [酸化バナジウム]		12. [窒化ゲルマニウム]	
20. [酸化銅]		13. [窒化インジウム]	
21. [酸化ニッケル]		14. [窒化鉛]	
22. [酸化鉄]		15. [窒化アンチモン]	
23. [酸化マンガン]		16. [窒化亜鉛]	
24. [酸化クロム]		17. [窒化タンタム]	
		18. [窒化モリブデン]	
		19. [窒化バナジウム]	
		20. [窒化銅]	
		21. [窒化ニッケル]	
		22. [窒化鉄]	
		23. [窒化マンガン]	
		24. [窒化クロム]	

なお、図8乃至図37においては、以下の通りとする。

無印 2.0 \times 1atmで
 O 2.0 \times 1atmで
 Δ 2.0 \times 1atmで
 AcAc: アセチルアセトンの略
 DPM: ジヒドロキシメタンの略
 HFA: ヘキサフルオロアセチルアセトンの略
 Cp: シクロペンタジエニル基の略
 MeCp: メチルシクロペンタジエニル基の略
 I-Prcp: イソプロピルシクロペンタジエニル基の略

【図8】

A. 酸化物薄膜		
1. [酸化アルミニウム]		
薄膜を形成させる 金属化合物	薄膜を形成させる 酸化剤	基板
Δ AlF ₃	O ₂	Si
Δ AlCl ₃	O ₂	SiO ₂
Δ AlBr ₃	O ₂	GaAs
Δ AlI ₃	N ₂ O	GaP
Δ Al(OCH ₃) ₃	NO ₂	InP
Δ Al(OC ₂ H ₅) ₃	N ₂ O ₅	InAs
Δ Al(OC ₃ H ₇) ₃	H ₂ O	他の半導体基板
Δ Al(OC ₄ H ₉) ₃	H ₂ O	MgO
Δ Al(CH ₃) ₂ Cl	D ₂ O	Al ₂ O ₃
Δ Al(C ₂ H ₅) ₂ Cl		ガラス
Δ Al(C ₃ H ₇) ₂ Cl		他の絶縁体基板
Δ Al(CH ₃) ₂ Cl		金属
Δ Al(CH ₃) ₂ Cl		プラスチック
Δ Al(CH ₃) ₂ Cl		ポリマー
Δ Al(CH ₃) ₂ Cl		ステンレス

2. [酸化ジルコニウム]		
薄膜を形成させる 金属化合物	薄膜を形成させる 酸化剤	基板
Δ ZrF ₄	O ₂	Si
Δ ZrCl ₄	O ₂	SiO ₂
Δ ZrBr ₄	O ₂	GaAs
Δ ZrI ₄	N ₂ O	GaP
Δ Zr(OCH ₃) ₄	NO ₂	InP
Δ Zr(OC ₂ H ₅) ₄	N ₂ O ₅	InAs
Δ Zr(OC ₃ H ₇) ₄	H ₂ O	他の半導体基板
Δ Zr(OC ₄ H ₉) ₄	H ₂ O	MgO
Δ ZrO ₂	D ₂ O	Al ₂ O ₃
Δ Zr(AlcAcO) ₂		ガラス
Δ Zr(DPM) ₂		他の絶縁体基板
Δ Zr(HFA) ₂		金属
Δ Zr(IBM) ₂		プラスチック
Δ Zr(NICH ₃) ₂		ポリマー
Δ Zr(N(C ₂ H ₅) ₂) ₂		ステンレス

【図9】

3. [酸化イットリウム]
 薄膜を形成させる
 金属化合物
 $\Delta Y F_3$
 $\Delta Y Cl_3$
 $\Delta Y_2 O_3$
 $\Delta Y (AcAc)_3$
 $\Delta Y (DPM)_3$
 $\Delta Y (HFA)_3$

薄膜を形成させる
 酸化剤
 O_2
 O_3
 $N_2 O$
 NO_2
 $N_2 O_5$
 $H_2 O_2$
 $H_2 O$
 $D_2 O$

基板
 Si
 SiO_2
 $GaAs$
 GaP
 InP
 $InAs$
 他の半導体基板
 MgO
 $Al_2 O_3$
 ガラス
 他の絶縁体基板
 金属
 プラスチックス
 ポリマー
 ステンレス

5. [酸化スカンジウム]
 薄膜を形成させる
 金属化合物
 $\Delta Sc_2 O_3$

薄膜を形成させる
 酸化剤
 O_2
 O_3
 $N_2 O$
 NO_2
 $N_2 O_5$
 $H_2 O_2$
 $H_2 O$
 $D_2 O$

基板
 Si
 SiO_2
 $GaAs$
 GaP
 InP
 $InAs$
 他の半導体基板
 MgO
 $Al_2 O_3$
 ガラス
 他の絶縁体基板
 金属
 プラスチックス
 ポリマー
 ステンレス

4. [酸化ハフニウム]
 薄膜を形成させる
 金属化合物
 $\Delta Hf Cl_4$
 $\Delta Hf Br_3$
 $\Delta Hf O_2$
 $\Delta Hf (AcAc)_4$
 $\Delta Hf (DPM)_4$
 $\Delta Hf (HFA)_4$

薄膜を形成させる
 酸化剤
 O_2
 O_3
 $N_2 O$
 NO_2
 $N_2 O_5$
 $H_2 O_2$
 $H_2 O$
 $D_2 O$

基板
 Si
 SiO_2
 $GaAs$
 GaP
 InP
 $InAs$
 他の半導体基板
 MgO
 $Al_2 O_3$
 ガラス
 他の絶縁体基板
 金属
 プラスチックス
 ポリマー
 ステンレス

6. [酸化チタニウム]
 薄膜を形成させる
 金属化合物
 $\Delta Ti Cl_3$
 $\Delta Ti Cl_4$
 $\Delta Al Br_3$
 $\Delta Ti I_3$
 $\Delta Ti (OCH_3)_4$
 $\Delta Ti (OC_2 H_5)_4$
 $\Delta Ti (OC_3 H_7)_4$
 $\Delta Ti (OC_4 H_9)_4$
 $\Delta Ti O_2$
 $\Delta Ti (AcAc)_4$
 $\Delta Ti (AcAc)_2 Cl_2$
 $\Delta Ti (DPM)_4$
 $\Delta Ti (HFA)_4 Cl_4$

薄膜を形成させる
 酸化剤
 O_2
 O_3
 $N_2 O$
 NO_2
 $N_2 O_5$
 $H_2 O_2$
 $H_2 O$
 $D_2 O$

基板
 Si
 SiO_2
 $GaAs$
 GaP
 InP
 $InAs$
 他の半導体基板
 MgO
 $Al_2 O_3$
 ガラス
 他の絶縁体基板
 金属
 プラスチックス
 ポリマー
 ステンレス

【図12】

9. [酸化ベリリウム]
 薄膜を形成させる
 金属化合物
 $\Delta Be F_2$
 $\Delta Be Cl_2$
 $\Delta Be Br_2$
 $\Delta Be I_2$
 $\Delta Be (CH_3)_2$
 $\Delta Be (C_2 H_5)_2$
 $\Delta Be (C_3 H_7)_2$
 $\Delta Be (C_4 H_9)_2$
 $\Delta Be O$

薄膜を形成させる
 酸化剤
 O_2
 O_3
 $N_2 O$
 NO_2
 $N_2 O_5$
 $H_2 O_2$
 $H_2 O$
 $D_2 O$

基板
 Si
 SiO_2
 $GaAs$
 GaP
 InP
 $InAs$
 他の半導体基板
 MgO
 $Al_2 O_3$
 ガラス
 他の絶縁体基板
 金属
 プラスチックス
 ポリマー
 ステンレス

13. [酸化インジウム]
 薄膜を形成させる
 金属化合物
 $\Delta In F_3$
 $\Delta In Cl_3$
 $\Delta In Br_3$
 $\Delta In I_3$

薄膜を形成させる
 酸化剤
 O_2
 O_3
 $N_2 O$
 NO_2
 $N_2 O_5$
 $H_2 O_2$
 $H_2 O$
 $D_2 O$

基板
 Si
 SiO_2
 $GaAs$
 GaP
 InP
 $InAs$
 他の半導体基板
 MgO
 $Al_2 O_3$
 ガラス
 他の絶縁体基板
 金属
 プラスチックス
 ポリマー
 ステンレス

$\Delta In (CH_3)_3$
 $\Delta In (C_2 H_5)_3$
 $\Delta In (C_3 H_7)_3$
 $\Delta In (C_4 H_9)_3$
 $\Delta In_2 O_3$
 $\Delta In (AcAc)_3$
 $\Delta In (DPM)_3$
 $\Delta In (HFA)_3$

10. [酸化ビスマス]
 薄膜を形成させる
 金属化合物
 $\Delta Bi F_3$
 $\Delta Bi Cl_3$
 $\Delta Bi Br_3$
 $\Delta Bi I_3$
 $\Delta Bi (CH_3)_3$
 $\Delta Bi Cl_3$
 $\Delta Bi O_3$
 $\Delta Bi OCl$
 $\Delta Bi (AcAc)_3$
 $\Delta Bi (DPM)_3$
 $\Delta Bi (HFA)_3$

薄膜を形成させる
 酸化剤
 O_2
 O_3
 $N_2 O$
 NO_2
 $N_2 O_5$
 $H_2 O_2$
 $H_2 O$
 $D_2 O$

基板
 Si
 SiO_2
 $GaAs$
 GaP
 InP
 $InAs$
 他の半導体基板
 MgO
 $Al_2 O_3$
 ガラス
 他の絶縁体基板
 金属
 プラスチックス
 ポリマー
 ステンレス

14. [酸化鉛]
 薄膜を形成させる
 金属化合物
 $\Delta Pb F_2$
 $\Delta Pb Cl_2$
 $\Delta Pb Br_2$
 $\Delta Pb I_2$
 $\Delta Pb (CH_3)_2$
 $\Delta Pb (C_2 H_5)_2$
 $\Delta Pb (C_3 H_7)_2$
 $\Delta Pb (C_4 H_9)_2$
 $\Delta Pb O_2$
 $\Delta Pb (C_2 H_5)_2$

薄膜を形成させる
 酸化剤
 O_2
 O_3
 $N_2 O$
 NO_2
 $N_2 O_5$
 $H_2 O_2$
 $H_2 O$
 $D_2 O$

基板
 Si
 SiO_2
 $GaAs$
 GaP
 InP
 $InAs$
 他の半導体基板
 MgO
 $Al_2 O_3$
 ガラス
 他の絶縁体基板
 金属
 プラスチックス
 ポリマー
 ステンレス

【図14】

【図11】

7. [酸化マグネシウム]

薄膜を形成させる

金属化合物
 $\Delta\text{Mg F}_2$
 $\Delta\text{Mg Cl}_2$
 $\Delta\text{Mg Br}_2$
 $\Delta\text{Mg I}_2$
 $\Delta\text{Mg (OCH}_3)_2$
 $\Delta\text{Mg (OC}_2\text{H}_5)_2$
 $\Delta\text{Mg (OC}_3\text{H}_7)_2$
 $\Delta\text{Mg (OC}_4\text{H}_9)_2$
 $\Delta\text{Mg (OC}_6\text{H}_{13})_2$
 $\Delta\text{Mg O}$
 $\Delta\text{Mg CO}_2$
 $\Delta\text{Mg (AcAc)}_2$
 $\Delta\text{Mg (DPM)}_2$
 $\Delta\text{Mg (HFA)}_2$

薄膜を形成させる

酸化剤
 O_2
 O_3
 N_2O
 NO_2
 N_2O_4
 H_2O_2
 H_2O
 D_2O

基板

Si
 SiO_2
GaAs
GaP
InP
InAs
他の半導体基板
MgO
 Al_2O_3
ガラス
他の絶縁体基板
金属
プラスチック
ポリマー
ステンレス

11. [酸化ガリウム]

薄膜を形成させる

金属化合物
 $\Delta\text{Ga F}_3$
 $\Delta\text{Ga Cl}_3$
 $\Delta\text{Ga Br}_3$
 $\Delta\text{Ga I}_3$
 $\Delta\text{Ga (OCH}_3)_3$
 $\Delta\text{Ga (OC}_2\text{H}_5)_3$
 $\Delta\text{Ga (OC}_3\text{H}_7)_3$
 $\Delta\text{Ga (OC}_4\text{H}_9)_3$
 $\Delta\text{Ga (OC}_6\text{H}_{13})_3$
 $\text{OGa (CH}_3)_3$
 $\text{OGa (C}_2\text{H}_5)_3$
 $\text{OGa (C}_3\text{H}_7)_3$
 $\text{OGa (C}_4\text{H}_9)_3$
 $\Delta\text{Ga (CH}_3)_2\text{Cl}$
 $\Delta\text{Ga (CH}_3)_2\text{Cl}_2$
 $\text{OGa (C}_2\text{H}_5)_2\text{Cl}$
 $\Delta\text{Ga (C}_2\text{H}_5)_2\text{Cl}_2$
 OGa_2O_3
 $\Delta\text{Ga (AcAc)}_3$
 $\Delta\text{Ga (DPM)}_3$
 $\Delta\text{Ga (HFA)}_3$

【図13】

薄膜を形成させる

酸化剤
 O_2
 O_3
 N_2O
 NO_2
 N_2O_4
 H_2O_2
 H_2O
 D_2O

基板

Si
 SiO_2
GaAs
GaP
InP
InAs
他の半導体基板
MgO
 Al_2O_3
ガラス
他の絶縁体基板
金属
プラスチック
ポリマー
ステンレス

8. [酸化ケイ素]

薄膜を形成させる

金属化合物
 Si F_4
 OSi Cl_4
 OSi Br_4
 $\Delta\text{Si I}_4$
 $\text{OSi (OCH}_3)_4$
 $\text{OSi (OC}_2\text{H}_5)_4$
 $\text{OSi (OC}_3\text{H}_7)_4$
 $\Delta\text{Si (H-OC}_2\text{H}_5)_4$
 $\Delta\text{Si (H-OC}_3\text{H}_7)_4$
 $\text{OSi (CH}_3)_4$
 $\text{OSi (C}_2\text{H}_5)_4$
 $\text{OSi (C}_3\text{H}_7)_4$
 $\text{OSi (C}_4\text{H}_9)_4$
 $\text{OSi (CH}_3)_3\text{Cl}$
 $\text{OSi (CH}_3)_2\text{Cl}_2$
 $\text{OSi (CH}_3)_2\text{Cl}_2$
 $\text{OSi (CH}_3)_2\text{Cl}_2$
 $\text{OSi (C}_2\text{H}_5)_3\text{Cl}$
 $\text{OSi (C}_2\text{H}_5)_2\text{Cl}_2$
 $\text{OSi (C}_2\text{H}_5)_2\text{Cl}_2$
 OSi HCl_3
 OSi HBr_3
 $\text{OSi (C}_2\text{H}_5)_3\text{Cl}_2$
 $\Delta\text{Si O}_2$

薄膜を形成させる

酸化剤
 O_2
 O_3
 N_2O
 NO_2
 N_2O_4
 H_2O_2
 H_2O
 D_2O

基板

Si
 SiO_2
GaAs
GaP
InP
InAs
他の半導体基板
MgO
 Al_2O_3
ガラス
他の絶縁体基板
金属
プラスチック
ポリマー
ステンレス

12. [酸化ゲルマニウム]

薄膜を形成させる

金属化合物
 Ge F_4
 OGe Cl_4
 OGe Br_4
 $\Delta\text{Ge I}_4$
 $\text{OGe (OCH}_3)_4$
 $\text{OGe (OC}_2\text{H}_5)_4$
 $\Delta\text{Ge (OC}_3\text{H}_7)_4$
 $\Delta\text{Ge (OC}_4\text{H}_9)_4$
 $\Delta\text{Ge (OC}_6\text{H}_{13})_4$
 $\text{OGe (CH}_3)_4$
 $\text{OGe (C}_2\text{H}_5)_4$
 $\text{OGe (C}_3\text{H}_7)_4$
 $\text{OGe (C}_4\text{H}_9)_4$
 $\text{OGe (CH}_3)_3\text{Cl}$
 $\text{OGe (CH}_3)_2\text{Cl}_2$
 $\text{OGe (CH}_3)_2\text{Cl}_2$
 $\text{OGe (CH}_3)_2\text{Cl}_2$
 $\text{OGe (C}_2\text{H}_5)_3\text{Cl}$
 $\text{OGe (C}_2\text{H}_5)_2\text{Cl}_2$
 $\Delta\text{Ge O}_2$

薄膜を形成させる

酸化剤
 O_2
 O_3
 N_2O
 NO_2
 N_2O_4
 H_2O_2
 H_2O
 D_2O

基板

Si
 SiO_2
GaAs
GaP
InP
InAs
他の半導体基板
MgO
 Al_2O_3
ガラス
他の絶縁体基板
金属
プラスチック
ポリマー
ステンレス

【図25】

E. テルル化物薄膜

1. [テルル化亜鉛]

薄膜を形成させる

金属化合物
 $\Delta\text{Zn F}_2$
 $\Delta\text{Zn Cl}_2$
 $\Delta\text{Zn Br}_2$
 $\Delta\text{Zn I}_2$
 $\Delta\text{Zn (OCH}_3)_2$
 $\Delta\text{Zn (OC}_2\text{H}_5)_2$
 $\text{OZn (CH}_3)_2$
 $\text{OZn (C}_2\text{H}_5)_2$
 $\Delta\text{Zn O}$
 $\Delta\text{Zn CO}_2$
 $\Delta\text{Zn (AcAc)}_2$
 $\Delta\text{Zn (DPM)}_2$
 $\Delta\text{Zn (HFA)}_2$

薄膜を形成させる

テルル化合物
 $\Delta\text{Te Cl}_2$
 $\Delta\text{Te I}_2$
 $\Delta\text{Te Br}_2$
 $\text{OTe (CH}_3)_2$
 $\text{OTe (C}_2\text{H}_5)_2$

基板

Si
 SiO_2
GaAs
GaP
InP
InAs
他の半導体基板
MgO
 Al_2O_3
ガラス
他の絶縁体基板
金属
プラスチック
ポリマー
ステンレス

【図15】

15. [酸化アンチモン]
 薄膜を形成させる
 金属化合物
 $\Delta Sb F_3$
 $\Delta Sb Cl_3$
 $\Delta Sb Br_3$
 $\Delta Sb I_3$
 $\Delta Sb (OCH_3)_3$
 $\Delta Sb (OC_2H_5)_3$
 $\Delta Sb (OC_3H_7)_3$
 $\Delta Sb (OC_4H_9)_3$
 $\Delta Sb (CH_3)_3$
 $\Delta Sb (C_2H_5)_3$
 $\Delta Sb (C_3H_7)_3$
 $\Delta Sb (C_4H_9)_3$
 $\Delta Sb_2 O_3$
 $\Delta Sb F_5$
 $\Delta Sb Cl_5$

薄膜を形成させる
 酸化剤
 O_2
 O_3
 O_4
 $N_2 O$
 NO_2
 NO
 $N_2 O_4$
 $H_2 O_2$
 $H_2 O$
 $D_2 O$

基板
 Si
 SiO_2
 $GaAs$
 GaP
 InP
 $InAs$
 他の半導体基板
 MgO
 $Al_2 O_3$
 ガラス
 他の絶縁体基板
 金属
 プラスチック
 ポリマー
 ステンレス

17. [酸化タングステン]
 薄膜を形成させる
 金属化合物
 $\Delta W F_6$
 $\Delta W Cl_6$
 $\Delta W O_3$
 $\Delta W O_4$

薄膜を形成させる
 酸化剤
 O_2
 O_3
 O_4
 $N_2 O$
 NO_2
 NO
 $N_2 O_4$
 $H_2 O_2$
 $H_2 O$
 $D_2 O$

基板
 Si
 SiO_2
 $GaAs$
 GaP
 InP
 $InAs$
 他の半導体基板
 MgO
 $Al_2 O_3$
 ガラス
 他の絶縁体基板
 金属
 プラスチック
 ポリマー
 ステンレス

18. [酸化モリブデン]
 薄膜を形成させる
 金属化合物
 $\Delta Mo F_6$
 $\Delta Mo Cl_6$
 $\Delta Mo O_3$
 $\Delta Mo O_4$

薄膜を形成させる
 酸化剤
 O_2
 O_3
 O_4
 $N_2 O$
 NO_2
 NO
 $N_2 O_4$
 $H_2 O_2$
 $H_2 O$
 $D_2 O$

基板
 Si
 SiO_2
 $GaAs$
 GaP
 InP
 $InAs$
 他の半導体基板
 MgO
 $Al_2 O_3$
 ガラス
 他の絶縁体基板
 金属
 プラスチック
 ポリマー
 ステンレス

16. [酸化亜鉛]
 薄膜を形成させる
 金属化合物
 $\Delta Zn F_2$
 $\Delta Zn Cl_2$
 $\Delta Zn Br_2$
 $\Delta Zn I_2$
 $\Delta Zn (OCH_3)_2$
 $\Delta Zn (OC_2H_5)_2$
 $\Delta Zn (OC_3H_7)_2$
 $\Delta Zn (OC_4H_9)_2$
 $\Delta Zn O$
 $\Delta Zn CO_2$
 $\Delta Zn (AcAc)_2$
 $\Delta Zn (DPM)_2$
 $\Delta Zn (HFA)_2$

薄膜を形成させる
 酸化剤
 O_2
 O_3
 O_4
 $N_2 O$
 NO_2
 NO
 $N_2 O_4$
 $H_2 O_2$
 $H_2 O$
 $D_2 O$

基板
 Si
 SiO_2
 $GaAs$
 GaP
 InP
 $InAs$
 他の半導体基板
 MgO
 $Al_2 O_3$
 ガラス
 他の絶縁体基板
 金属
 プラスチック
 ポリマー
 ステンレス

【図19】

【図18】

20. [酸化銅]
 薄膜を形成させる
 金属化合物
 $\Delta Cu (C_2H_5)_2 (C_2H_5)_2$
 $\Delta Cu F_2$
 $\Delta Cu Br_2$
 $\Delta Cu Cl_2$
 $\Delta Cu I_2$
 $\Delta Cu Br$
 $\Delta Cu Cl$
 $\Delta Cu_2 O$
 $\Delta Cu O$
 $\Delta Cu (AcAc)_2$
 $\Delta Cu (DPM)_2$
 $\Delta Cu (HFA)_2$

薄膜を形成させる
 酸化剤
 O_2
 O_3
 O_4
 $N_2 O$
 NO_2
 NO
 $N_2 O_4$
 $H_2 O_2$
 $H_2 O$
 $D_2 O$

基板
 Si
 SiO_2
 $GaAs$
 GaP
 InP
 $InAs$
 他の半導体基板
 MgO
 $Al_2 O_3$
 ガラス
 他の絶縁体基板
 金属
 プラスチック
 ポリマー
 ステンレス

22. [酸化鉄]
 薄膜を形成させる
 金属化合物
 $\Delta Fe (C_2H_5)_2$
 $\Delta Fe (CH_3C_2H_5)_2$
 $\Delta Fe F_3$
 $\Delta Fe Cl_3$
 $\Delta Fe Br_3$
 $\Delta Fe I_3$
 $\Delta Fe O$
 $\Delta Fe_2 O_3$
 $\Delta Fe_3 O_4$
 $\Delta Fe (AcAc)_2$
 $\Delta Fe (DPM)_2$
 $\Delta Fe (HFA)_2$
 $\Delta Fe F_3$
 $\Delta Fe Cl_3$
 $\Delta Fe Br_3$
 $\Delta Fe (OCH_3)_3$
 $\Delta Fe (OC_2H_5)_3$

薄膜を形成させる
 酸化剤
 O_2
 O_3
 O_4
 $N_2 O$
 NO_2
 NO
 $N_2 O_4$
 $H_2 O_2$
 $H_2 O$
 $D_2 O$

基板
 Si
 SiO_2
 $GaAs$
 GaP
 InP
 $InAs$
 他の半導体基板
 MgO
 $Al_2 O_3$
 ガラス
 他の絶縁体基板
 金属
 プラスチック
 ポリマー
 ステンレス

21. [酸化ニッケル]
 薄膜を形成させる
 金属化合物
 $\Delta Ni (C_2H_5)_2$
 $\Delta Ni (CH_3C_2H_5)_2$
 $\Delta Ni F_2$
 $\Delta Ni Cl_2$
 $\Delta Ni Br_2$
 $\Delta Ni I_2$
 $\Delta Ni O$
 $\Delta Ni_2 O_3$
 $\Delta Ni CO_2$
 $\Delta Ni (AcAc)_2$
 $\Delta Ni (DPM)_2$
 $\Delta Ni (HFA)_2$

薄膜を形成させる
 酸化剤
 O_2
 O_3
 O_4
 $N_2 O$
 NO_2
 NO
 $N_2 O_4$
 $H_2 O_2$
 $H_2 O$
 $D_2 O$

基板
 Si
 SiO_2
 $GaAs$
 GaP
 InP
 $InAs$
 他の半導体基板
 MgO
 $Al_2 O_3$
 ガラス
 他の絶縁体基板
 金属
 プラスチック
 ポリマー
 ステンレス

23. [酸化マンガン]
 薄膜を形成させる
 金属化合物
 $\Delta Mn O_2$
 $\Delta Mn_2 O_3$
 $\Delta Mn F_2$
 $\Delta Mn Cl_2$
 $\Delta Mn Br_2$
 $\Delta Mn I_2$
 $\Delta Mn O$
 $\Delta Mn_2 O_3$
 $\Delta Mn_3 O_4$
 $\Delta Mn (AcAc)_2$
 $\Delta Mn (DPM)_2$
 $\Delta Mn (HFA)_2 \cdot 2H_2 O$

薄膜を形成させる
 酸化剤
 O_2
 O_3
 O_4
 $N_2 O$
 NO_2
 NO
 $N_2 O_4$
 $H_2 O_2$
 $H_2 O$
 $D_2 O$

基板
 Si
 SiO_2
 $GaAs$
 GaP
 InP
 $InAs$
 他の半導体基板
 MgO
 $Al_2 O_3$
 ガラス
 他の絶縁体基板
 金属
 プラスチック
 ポリマー
 ステンレス

【図21】

B.ハロゲン化物薄膜

1.[弗化マグネシウム]

薄膜を形成させる
金属化合物
 $\Delta\text{Mg F}_2$
 $\Delta\text{Mg Cl}_2$
 $\Delta\text{Mg Br}_2$
 $\Delta\text{Mg I}_2$
 $\Delta\text{Mg}(\text{OCH}_3)_2$
 $\Delta\text{Mg}(\text{OC}_2\text{H}_5)_2$
 $\Delta\text{Mg}(\text{OC}_3\text{H}_7)_2$
 $\Delta\text{Mg}(\text{OC}_4\text{H}_9)_2$
 $\Delta\text{Mg O}$
 $\Delta\text{Mg CO}_2$
 $\Delta\text{Mg}(\text{AcAc})_3$
 $\Delta\text{Mg}(\text{DPM})_3$
 $\Delta\text{Mg}(\text{HFA})_3$

薄膜を形成させる
ハロゲン化剤
 F_2
 F_2
 NF_3
 CF_4
 SF_6
 HF

基板
 Si
 SiO_2
 GaAs
 GaP
 InP
 InAs
 他の半導体基板
 MgO
 Al_2O_3
 ガラス
 他の絶縁体基板
 金属
 プラスチックス
 ポリマー
 ステンレス

2.[弗化カルシウム]

薄膜を形成させる
金属化合物
 $\Delta\text{Ca F}_2$
 $\Delta\text{Ca Cl}_2$
 $\Delta\text{Ca Br}_2$
 $\Delta\text{Ca I}_2$
 $\Delta\text{Ca}(\text{OCH}_3)_2$
 $\Delta\text{Ca}(\text{OC}_2\text{H}_5)_2$
 $\Delta\text{Ca}(\text{OC}_3\text{H}_7)_2$
 $\Delta\text{Ca}(\text{OC}_4\text{H}_9)_2$
 $\Delta\text{Ca O}$
 $\Delta\text{Ca CO}_2$
 $\Delta\text{Ca}(\text{AcAc})_2$
 $\Delta\text{Ca}(\text{DPM})_2$
 $\Delta\text{Ca}(\text{HFA})_2$

薄膜を形成させる
ハロゲン化剤
 F_2
 F_2
 NF_3
 CF_4
 SF_6
 HF

基板
 Si
 SiO_2
 GaAs
 GaP
 InP
 InAs
 他の半導体基板
 MgO
 Al_2O_3
 ガラス
 他の絶縁体基板
 金属
 プラスチックス
 ポリマー
 ステンレス

【図22】

3.[弗化ナトリウム]

薄膜を形成させる
金属化合物
 $\Delta\text{Na F}$
 $\Delta\text{Na Cl}$
 $\Delta\text{Na Br}$
 $\Delta\text{Na I}$
 $\Delta\text{Na OCH}_3$
 $\Delta\text{Na OC}_2\text{H}_5$
 $\Delta\text{Na OC}_3\text{H}_7$
 $\Delta\text{Na OC}_4\text{H}_9$
 $\Delta\text{Na CO}_2$
 $\Delta\text{Na}(\text{AcAc})$
 $\Delta\text{Na}(\text{DPM})$
 $\Delta\text{Na}(\text{HFA})$

薄膜を形成させる
ハロゲン化剤
 F_2
 F_2
 NF_3
 CF_4
 SF_6
 HF

基板
 Si
 SiO_2
 GaAs
 GaP
 InP
 InAs
 他の半導体基板
 MgO
 Al_2O_3
 ガラス
 他の絶縁体基板
 金属
 プラスチックス
 ポリマー
 ステンレス

4.[弗化リチウム]

薄膜を形成させる
金属化合物
 $\Delta\text{Li F}$
 $\Delta\text{Li Cl}$
 $\Delta\text{Li Br}$
 $\Delta\text{Li I}$
 $\Delta\text{Li OCH}_3$
 $\Delta\text{Li OC}_2\text{H}_5$
 $\Delta\text{Li OC}_3\text{H}_7$
 $\Delta\text{Li OC}_4\text{H}_9$
 $\Delta\text{Li CO}_2$
 $\Delta\text{Li CH}_3$
 $\Delta\text{Li C}_2\text{H}_5$
 $\Delta\text{Li C}_3\text{H}_7$
 $\Delta\text{Li C}_4\text{H}_9$
 $\Delta\text{Li}(\text{AcAc})$
 $\Delta\text{Li}(\text{DPM})$
 $\Delta\text{Li}(\text{HFA})$
 $\Delta\text{Li N}[(\text{CH}_3)_3\text{Si}]_2$

薄膜を形成させる
ハロゲン化剤
 F_2
 F_2
 NF_3
 CF_4
 SF_6
 HF

基板
 Si
 SiO_2
 GaAs
 GaP
 InP
 InAs
 他の半導体基板
 MgO
 Al_2O_3
 ガラス
 他の絶縁体基板
 金属
 プラスチックス
 ポリマー
 ステンレス

【図23】

5.[弗化ランタン]

薄膜を形成させる
金属化合物
 $\Delta\text{La F}_3$
 $\Delta\text{La Cl}_3$
 $\Delta\text{La Br}_3$
 $\Delta\text{La I}_3$
 $\Delta\text{La}(\text{OCH}_3)_3$
 $\Delta\text{La}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3$
 $\Delta\text{La}(\text{OC}_3\text{H}_7)_3$
 $\Delta\text{La}(\text{OC}_4\text{H}_9)_3$
 $\Delta\text{La O}$
 $\Delta\text{La CO}_2$
 $\Delta\text{La}(\text{AcAc})_3$
 $\Delta\text{La}(\text{DPM})_3$
 $\Delta\text{La}(\text{HFA})_3$

薄膜を形成させる
ハロゲン化剤
 F_2
 F_2
 NF_3
 CF_4
 SF_6
 HF

基板
 Si
 SiO_2
 GaAs
 GaP
 InP
 InAs
 他の半導体基板
 MgO
 Al_2O_3
 ガラス
 他の絶縁体基板
 金属
 プラスチックス
 ポリマー
 ステンレス

3.[窒化イットリウム]

薄膜を形成させる
金属化合物
 $\Delta\text{Y F}_3$
 $\Delta\text{Y Cl}_3$
 $\Delta\text{Y}_2\text{O}_3$
 $\Delta\text{Y}(\text{AcAc})_3$
 $\Delta\text{Y}(\text{DPM})_3$
 $\Delta\text{Y}(\text{HFA})_3$

薄膜を形成させる
窒化剤
 N_2
 N
 NH_3

基板
 Si
 SiO_2
 GaAs
 GaP
 InP
 InAs
 他の半導体基板
 MgO
 Al_2O_3
 ガラス
 他の絶縁体基板
 金属
 プラスチックス
 ポリマー
 ステンレス

【図27】

6.[弗化ネオジム]

薄膜を形成させる
金属化合物
 $\Delta\text{Nd F}_3$
 $\Delta\text{Nd Cl}_3$
 $\Delta\text{Nd Br}_3$
 $\Delta\text{Nd I}_3$
 $\Delta\text{Nd}(\text{OCH}_3)_3$
 $\Delta\text{Nd}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3$
 $\Delta\text{Nd}(\text{OC}_3\text{H}_7)_3$
 $\Delta\text{Nd}(\text{OC}_4\text{H}_9)_3$
 $\Delta\text{Nd O}$
 $\Delta\text{Nd CO}_2$
 $\Delta\text{Nd}(\text{AcAc})_3$
 $\Delta\text{Nd}(\text{DPM})_3$
 $\Delta\text{Nd}(\text{HFA})_3$

薄膜を形成させる
ハロゲン化剤
 F_2
 F_2
 NF_3
 CF_4
 SF_6
 HF

基板
 Si
 SiO_2
 GaAs
 GaP
 InP
 InAs
 他の半導体基板
 MgO
 Al_2O_3
 ガラス
 他の絶縁体基板
 金属
 プラスチックス
 ポリマー
 ステンレス

4[窒化ハフニウム]

薄膜を形成させる
金属化合物
 $\Delta\text{Hf Cl}_4$
 $\Delta\text{Hf Br}_4$
 $\Delta\text{Hf O}_2$
 $\Delta\text{Hf}(\text{AcAc})_4$
 $\Delta\text{Hf}(\text{DPM})_4$
 $\Delta\text{Hf}(\text{HFA})_4$

薄膜を形成させる
窒化剤
 N_2
 N
 NH_3

基板
 Si
 SiO_2
 GaAs
 GaP
 InP
 InAs
 他の半導体基板
 MgO
 Al_2O_3
 ガラス
 他の絶縁体基板
 金属
 プラスチックス
 ポリマー
 ステンレス

【図24】

C. 硫化物薄膜

1. [硫化亜鉛]

薄膜を形成させる
金属化合物
 $\Delta Zn F_2$
 $\Delta Zn Cl_2$
 $\Delta Zn Br_2$
 $\Delta Zn I_2$
 $\Delta Zn (OCH_3)_2$
 $\Delta Zn (OC_2H_5)_2$
 $\Delta Zn (CH_3)_2$
 $\Delta Zn (C_2H_5)_2$
 $\Delta Zn O$
 $\Delta Zn CO_2$
 $\Delta Zn (AcAc)_2$
 $\Delta Zn (DPM)_2$
 $\Delta Zn (HFA)_2$

薄膜を形成させる
硫化剤
 ΔS
 SF_6
 OS_2Cl_2
 $OSCl_2$
 OSO_2Cl_2
 $OSOCl_2$

基板
 Si
 SiO_2
 $GaAs$
 GeP
 InP
 $InAs$
 他の半導体基板
 MgO
 Al_2O_3
 ガラス
 他の絶縁体基板
 金属
 プラスチック
 ポリマー
 ステンレス

D. セレン化物薄膜

1. [セレン化亜鉛]

薄膜を形成させる
金属化合物
 $\Delta Zn F_2$
 $\Delta Zn Cl_2$
 $\Delta Zn Br_2$
 $\Delta Zn I_2$
 $\Delta Zn (OCH_3)_2$
 $\Delta Zn (OC_2H_5)_2$
 $\Delta Zn (CH_3)_2$
 $\Delta Zn (C_2H_5)_2$
 $\Delta Zn O$
 $\Delta Zn CO_2$
 $\Delta Zn (AcAc)_2$
 $\Delta Zn (DPM)_2$
 $\Delta Zn (HFA)_2$

薄膜を形成させる
セレン化剤
 ΔSe_2Cl_2
 $\Delta SeCl_4$
 $\Delta SeOCl_2$
 ΔSe_2Br_2
 $\Delta SeBr_4$
 $\Delta Se (CH_3)_2$
 $\Delta Se (C_2H_5)_2$

基板
 Si
 SiO_2
 $GaAs$
 GeP
 InP
 $InAs$
 他の半導体基板
 MgO
 Al_2O_3
 ガラス
 他の絶縁体基板
 金属
 プラスチック
 ポリマー
 ステンレス

【図26】

F. 窒化物薄膜

1. [窒化アルミニウム]

薄膜を形成させる
金属化合物
 $\Delta Al F_3$
 $\Delta Al Cl_3$
 $\Delta Al Br_3$
 $\Delta Al I_3$
 $\Delta Al (OCH_3)_3$
 $\Delta Al (OC_2H_5)_3$
 $\Delta Al (i-C_4H_9)_3$
 $\Delta Al (OC_2H_5)_2$
 $\Delta Al (CH_3)_3$
 $\Delta Al (C_2H_5)_3$
 $\Delta Al (i-C_4H_9)_3$
 $\Delta Al (CH_3)_2Cl$
 $\Delta Al (CH_3)Cl_2$
 $\Delta Al (CH_3)_2Cl$
 $\Delta Al (CH_3)_2Cl$
 $\Delta Al (CH_3)_2Cl$
 $\Delta Al (CH_3)_2H$
 $\Delta Al (C_2H_5)_2H$
 $\Delta Al (i-C_4H_9)_2H$
 $\Delta Al H_2 \cdot N(CH_3)_3$
 $\Delta Al H_2 \cdot N(CH_3)_3(C_2H_5)_2$
 $\Delta Al H_2 \cdot N(CH_3)_3(C_2H_5)_3$
 $\Delta Al H_2 \cdot N(CH_3)_3$

薄膜を形成させる
窒化剤
 N_2
 N
 NH_3

基板
 Si
 SiO_2
 $GaAs$
 GeP
 InP
 $InAs$
 他の半導体基板
 MgO
 Al_2O_3
 ガラス
 他の絶縁体基板
 金属
 プラスチック
 ポリマー
 ステンレス

2. [窒化ジルコニウム]

薄膜を形成させる
金属化合物
 $\Delta Zr F_4$
 $\Delta Zr Cl_4$
 $\Delta Zr Br_4$
 $\Delta Zr I_4$
 $\Delta Zr (OCH_3)_4$
 $\Delta Zr (OC_2H_5)_4$
 $\Delta Zr (OC_2H_5)_3$
 $\Delta Zr (OC_2H_5)_2$
 $\Delta Zr (OC_2H_5)_2$
 $\Delta Zr O_2$
 $\Delta Zr (AcAc)_2$
 $\Delta Zr (DPM)_2$
 $\Delta Zr (HFA)_2$
 $\Delta Zr (BH_3)_2$
 $\Delta Zr [N(CH_3)_3]_2$
 $\Delta Zr [N(CH_3)_3]_2$

薄膜を形成させる
窒化剤
 N_2
 N
 NH_3

基板
 Si
 SiO_2
 $GaAs$
 GeP
 InP
 $InAs$
 他の半導体基板
 MgO
 Al_2O_3
 ガラス
 他の絶縁体基板
 金属
 プラスチック
 ポリマー
 ステンレス

【図32】

13. [窒化インジウム]

薄膜を形成させる
金属化合物
 $\Delta In F_3$
 $\Delta In Cl_3$
 $\Delta In Br_3$
 $\Delta In I_3$

$\Delta In (CH_3)_3$
 $\Delta In (C_2H_5)_3$
 $\Delta In (C_2H_5)_2$
 $\Delta In (C_2H_5)_2$
 $\Delta In O_2$
 $\Delta In (AcAc)_2$
 $\Delta In (DPM)_2$
 $\Delta In (HFA)_2$

薄膜を形成させる
窒化剤
 N_2
 N
 NH_3

基板
 Si
 SiO_2
 $GaAs$
 GeP
 InP
 $InAs$
 他の半導体基板
 MgO
 Al_2O_3
 ガラス
 他の絶縁体基板
 金属
 プラスチック
 ポリマー
 ステンレス

14. [窒化鉛]

薄膜を形成させる
金属化合物
 $\Delta Pb F_2$
 $\Delta Pb Cl_2$
 $\Delta Pb Br_2$
 $\Delta Pb I_2$
 $\Delta Pb (CH_3)_2$
 $\Delta Pb (C_2H_5)_2$
 $\Delta Pb (C_2H_5)_2$
 $\Delta Pb (C_2H_5)_2$
 $\Delta Pb O_2$
 $\Delta Pb (C_2H_5)_2$

薄膜を形成させる
窒化剤
 N_2
 N
 NH_3

基板
 Si
 SiO_2
 $GaAs$
 GeP
 InP
 $InAs$
 他の半導体基板
 MgO
 Al_2O_3
 ガラス
 他の絶縁体基板
 金属
 プラスチック
 ポリマー
 ステンレス

【図28】

5. [窒化スカンジウム]
薄膜を形成させる
金属化合物
 $\Delta\text{Sc}_2\text{O}_3$

薄膜を形成させる
窒化剤
 N_2
 N
 NH_3

基板
 Si
 SiO_2
 GaAs
 GaP
 InP
 InAs
他の半導体基板
 MgO
 Al_2O_3
ガラス
他の絶縁体基板
金属
プラスチック
ポリマー
ステンレス

7. [窒化マグネシウム]
薄膜を形成させる
金属化合物
 $\Delta\text{Mg F}_2$
 $\Delta\text{Mg Cl}_2$
 $\Delta\text{Mg Br}_2$
 $\Delta\text{Mg I}_2$
 $\Delta\text{Mg}(\text{OCH}_3)_2$
 $\Delta\text{Mg}(\text{OC}_2\text{H}_5)_2$
 $\Delta\text{Mg}(\text{OC}_3\text{H}_7)_2$
 $\Delta\text{Mg}(\text{OC}_4\text{H}_9)_2$
 $\Delta\text{Mg O}$
 $\Delta\text{Mg CO}_2$
 $\Delta\text{Mg}(\text{AcAc})_2$
 $\Delta\text{Mg}(\text{DPM})_2$
 $\Delta\text{Mg}(\text{HFA})_2$

【図29】

薄膜を形成させる
窒化剤
 N_2
 N
 NH_3

基板
 Si
 SiO_2
 GaAs
 GaP
 InP
 InAs
他の半導体基板
 MgO
 Al_2O_3
ガラス
他の絶縁体基板
金属
プラスチック
ポリマー
ステンレス

6. [窒化チタニウム]
薄膜を形成させる
金属化合物
 $\Delta\text{Ti Cl}_4$
 $\Delta\text{Ti Cl}_3$
 $\Delta\text{Al Br}_3$
 $\Delta\text{Ti I}_4$
 $\Delta\text{Ti}(\text{OCH}_3)_4$
 $\Delta\text{Ti}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$
 $\Delta\text{Ti}(\text{OC}_3\text{H}_7)_4$
 $\Delta\text{Ti}(\text{OC}_4\text{H}_9)_4$
 $\Delta\text{Ti O}_2$
 $\Delta\text{Ti}(\text{AcAc})_2$
 $\Delta\text{Ti}(\text{AcAc})_2\text{Cl}_2$
 $\Delta\text{Ti}(\text{DPM})_2$
 $\Delta\text{Ti}(\text{HFA})_2\text{Cl}_2$

薄膜を形成させる
窒化剤
 N_2
 N
 NH_3

基板
 Si
 SiO_2
 GaAs
 GaP
 InP
 InAs
他の半導体基板
 MgO
 Al_2O_3
ガラス
他の絶縁体基板
金属
プラスチック
ポリマー
ステンレス

8. [窒化ケイ素]
薄膜を形成させる
金属化合物
 Si F_4
 $\Delta\text{Si Cl}_4$
 $\Delta\text{Si Br}_4$
 $\Delta\text{Si I}_4$
 $\Delta\text{Si}(\text{OCH}_3)_4$
 $\Delta\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$
 $\Delta\text{Si}(\text{OC}_3\text{H}_7)_4$
 $\Delta\text{Si}(\text{OC}_4\text{H}_9)_4$
 $\Delta\text{Si}(\text{CH}_3)_4$
 $\Delta\text{Si}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$
 $\Delta\text{Si}(\text{C}_3\text{H}_7)_4$
 $\Delta\text{Si}(\text{C}_4\text{H}_9)_4$
 $\Delta\text{Si}(\text{CH}_3)_3\text{Cl}$
 $\Delta\text{Si}(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{Cl}$
 $\Delta\text{Si}(\text{C}_3\text{H}_7)_3\text{Cl}$
 $\Delta\text{Si}(\text{C}_4\text{H}_9)_3\text{Cl}$
 $\Delta\text{Si HCl}$
 $\Delta\text{Si HBr}$
 $\Delta\text{Si}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Cl}_2$
 $\Delta\text{Si O}_2$

薄膜を形成させる
窒化剤
 N_2
 N
 NH_3

基板
 Si
 SiO_2
 GaAs
 GaP
 InP
 InAs
他の半導体基板
 MgO
 Al_2O_3
ガラス
他の絶縁体基板
金属
プラスチック
ポリマー
ステンレス

【図30】

9. [窒化ベリリウム]
薄膜を形成させる
金属化合物
 $\Delta\text{Be F}_2$
 $\Delta\text{Be Cl}_2$
 $\Delta\text{Be Br}_2$
 $\Delta\text{Be I}_2$
 $\Delta\text{Be}(\text{CH}_3)_2$
 $\Delta\text{Be}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$
 $\Delta\text{Be}(\text{C}_3\text{H}_7)_2$
 $\Delta\text{Be}(\text{C}_4\text{H}_9)_2$
 $\Delta\text{Be O}$

薄膜を形成させる
窒化剤
 N_2
 N
 NH_3

基板
 Si
 SiO_2
 GaAs
 GaP
 InP
 InAs
他の半導体基板
 MgO
 Al_2O_3
ガラス
他の絶縁体基板
金属
プラスチック
ポリマー
ステンレス

10. [窒化ビスマス]
薄膜を形成させる
金属化合物
 $\Delta\text{Bi F}_3$
 $\Delta\text{Bi Cl}_3$
 $\Delta\text{Bi Br}_3$
 $\Delta\text{Bi I}_3$
 $\Delta\text{Bi}(\text{CH}_3)_3$
 $\Delta\text{Bi Cl}_2$
 $\Delta\text{Bi}_2\text{O}_3$
 $\Delta\text{Bi OCl}$
 $\Delta\text{Bi}(\text{AcAc})_3$
 $\Delta\text{Bi}(\text{DPM})_3$
 $\Delta\text{Bi}(\text{HFA})_3$

薄膜を形成させる
窒化剤
 N_2
 N
 NH_3

基板
 Si
 SiO_2
 GaAs
 GaP
 InP
 InAs
他の半導体基板
 MgO
 Al_2O_3
ガラス
他の絶縁体基板
金属
プラスチック
ポリマー
ステンレス

【図31】

11. [窒化ガリウム]
薄膜を形成させる

金属化合物
 ΔGaF_3
 ΔGaCl_3
 ΔGaBr_3
 ΔGaI_3
 $\Delta\text{Ga}(\text{OCH}_3)_3$
 $\Delta\text{Ga}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3$
 $\Delta\text{Ga}(\text{OC}_3\text{H}_7)_3$
 $\Delta\text{Ga}(\text{OC}_4\text{H}_9)_3$
 $\Delta\text{Ga}(\text{OC}_6\text{H}_{13})_3$
 $\Delta\text{Ga}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$
 $\Delta\text{Ga}(\text{C}_3\text{H}_7)_3$
 $\Delta\text{Ga}(\text{C}_4\text{H}_9)_3$
 $\Delta\text{Ga}(\text{C}_6\text{H}_{13})_3$
 $\Delta\text{Ga}(\text{CH}_3)_2\text{Cl}$
 $\Delta\text{Ga}(\text{CH}_3)_2\text{Br}$
 $\Delta\text{Ga}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Cl}$
 $\Delta\text{Ga}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Br}$
 $\Delta\text{Ga}_2\text{O}_3$
 $\Delta\text{Ga}(\text{AcAc})_3$
 $\Delta\text{Ga}(\text{DPM})_3$
 $\Delta\text{Ga}(\text{HFA})_3$

薄膜を形成させる

窒化剤
 N_2
 N
 NH_3

基板

Si
 SiO_2
 GaAs
 GeP
 InP
 InAs
 他の半導体基板
 MgO
 Al_2O_3
 ガラス
 他の絶縁体基板
 金属
 プラスチック
 ポリマー
 ステンレス

12. [窒化ゲルマニウム]
薄膜を形成させる

金属化合物
 ΔGeF_4
 ΔGeCl_4
 ΔGeBr_4
 ΔGeI_4
 $\Delta\text{Ge}(\text{OCH}_3)_4$
 $\Delta\text{Ge}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$
 $\Delta\text{Ge}(\text{OC}_3\text{H}_7)_4$
 $\Delta\text{Ge}(\text{OC}_4\text{H}_9)_4$
 $\Delta\text{Ge}(\text{OC}_6\text{H}_{13})_4$
 $\Delta\text{Ge}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$
 $\Delta\text{Ge}(\text{C}_3\text{H}_7)_4$
 $\Delta\text{Ge}(\text{C}_4\text{H}_9)_4$
 $\Delta\text{Ge}(\text{C}_6\text{H}_{13})_4$
 $\Delta\text{Ge}(\text{CH}_3)_3\text{Cl}$
 $\Delta\text{Ge}(\text{CH}_3)_3\text{Br}$
 $\Delta\text{Ge}(\text{CH}_3)_3\text{I}$
 $\Delta\text{Ge}(\text{CH}_3)_2\text{Cl}_2$
 $\Delta\text{Ge}(\text{CH}_3)_2\text{Br}_2$
 $\Delta\text{Ge}(\text{CH}_3)_2\text{I}_2$
 $\Delta\text{Ge}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Cl}_2$
 $\Delta\text{Ge}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Br}_2$
 $\Delta\text{Ge}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{I}_2$
 $\Delta\text{Ge}_2\text{O}_3$

薄膜を形成させる

窒化剤
 N_2
 N
 NH_3

基板

Si
 SiO_2
 GaAs
 GeP
 InP
 InAs
 他の半導体基板
 MgO
 Al_2O_3
 ガラス
 他の絶縁体基板
 金属
 プラスチック
 ポリマー
 ステンレス

【図34】

17. [窒化タングステン]
薄膜を形成させる

金属化合物
 $\Delta\text{W F}_6$
 $\Delta\text{W Cl}_6$
 $\Delta\text{W O}_3$
 $\Delta\text{W O}_4$

薄膜を形成させる

窒化剤
 N_2
 N
 NH_3

基板

Si
 SiO_2
 GaAs
 GeP
 InP
 InAs
 他の半導体基板
 MgO
 Al_2O_3
 ガラス
 他の絶縁体基板
 金属
 プラスチック
 ポリマー
 ステンレス

18. [窒化モリブデン]
薄膜を形成させる

金属化合物
 $\Delta\text{Mo F}_6$
 $\Delta\text{Mo Cl}_6$
 $\Delta\text{Mo O}_3$
 $\Delta\text{Mo O}_4$

薄膜を形成させる

窒化剤
 N_2
 N
 NH_3

基板

Si
 SiO_2
 GaAs
 GeP
 InP
 InAs
 他の半導体基板
 MgO
 Al_2O_3
 ガラス
 他の絶縁体基板
 金属
 プラスチック
 ポリマー
 ステンレス

【図33】

15. [窒化アンチモン]
薄膜を形成させる

金属化合物
 $\Delta\text{Sb F}_3$
 $\Delta\text{Sb Cl}_3$
 $\Delta\text{Sb Br}_3$
 $\Delta\text{Sb I}_3$
 $\Delta\text{Sb}(\text{OCH}_3)_3$
 $\Delta\text{Sb}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3$
 $\Delta\text{Sb}(\text{OC}_3\text{H}_7)_3$
 $\Delta\text{Sb}(\text{OC}_4\text{H}_9)_3$
 $\Delta\text{Sb}(\text{OC}_6\text{H}_{13})_3$
 $\Delta\text{Sb}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$
 $\Delta\text{Sb}(\text{C}_3\text{H}_7)_3$
 $\Delta\text{Sb}(\text{C}_4\text{H}_9)_3$
 $\Delta\text{Sb}_2\text{O}_3$
 $\Delta\text{Sb F}_5$
 $\Delta\text{Sb Cl}_5$

薄膜を形成させる

窒化剤
 N_2
 N
 NH_3

基板

Si
 SiO_2
 GaAs
 GeP
 InP
 InAs
 他の半導体基板
 MgO
 Al_2O_3
 ガラス
 他の絶縁体基板
 金属
 プラスチック
 ポリマー
 ステンレス

16. [窒化亜鉛]
薄膜を形成させる

金属化合物
 $\Delta\text{Zn F}_2$
 $\Delta\text{Zn Cl}_2$
 $\Delta\text{Zn Br}_2$
 $\Delta\text{Zn I}_2$
 $\Delta\text{Zn}(\text{OCH}_3)_2$
 $\Delta\text{Zn}(\text{OC}_2\text{H}_5)_2$
 $\Delta\text{Zn}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$
 $\Delta\text{Zn}(\text{C}_3\text{H}_7)_2$
 $\Delta\text{Zn}(\text{C}_4\text{H}_9)_2$
 $\Delta\text{Zn O}$
 $\Delta\text{Zn CO}_3$
 $\Delta\text{Zn}(\text{AcAc})_2$
 $\Delta\text{Zn}(\text{DPM})_2$
 $\Delta\text{Zn}(\text{HFA})_2$

薄膜を形成させる

窒化剤
 N_2
 N
 NH_3

基板

Si
 SiO_2
 GaAs
 GeP
 InP
 InAs
 他の半導体基板
 MgO
 Al_2O_3
 ガラス
 他の絶縁体基板
 金属
 プラスチック
 ポリマー
 ステンレス

【図35】

19. [窒化バナジウム]
薄膜を形成させる

金属化合物
 $\Delta\text{V F}_3$
 $\Delta\text{V Cl}_3$
 $\Delta\text{V Br}_3$
 $\Delta\text{V I}_3$
 $\Delta\text{V O}(\text{OCH}_3)_3$
 $\Delta\text{V O}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3$
 $\Delta\text{V O}(\text{OC}_3\text{H}_7)_3$
 $\Delta\text{V O}(\text{OC}_4\text{H}_9)_3$
 $\Delta\text{V OCl}_3$
 $\Delta\text{V O}$
 $\Delta\text{V Cl}_5$
 $\Delta\text{V}_2\text{O}_5$

薄膜を形成させる

窒化剤
 N_2
 N
 NH_3

基板

Si
 SiO_2
 GaAs
 GeP
 InP
 InAs
 他の半導体基板
 MgO
 Al_2O_3
 ガラス
 他の絶縁体基板
 金属
 プラスチック
 ポリマー
 ステンレス

20. [窒化銅]
薄膜を形成させる

金属化合物
 $\Delta\text{Cu}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{P}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$
 $\Delta\text{Cu F}_2$
 $\Delta\text{Cu Br}_2$
 $\Delta\text{Cu Cl}_2$
 $\Delta\text{Cu I}_2$
 $\Delta\text{Cu Br}$
 $\Delta\text{Cu Cl}$
 $\Delta\text{Cu}_2\text{O}$
 $\Delta\text{Cu O}$
 $\Delta\text{Cu}(\text{AcAc})_2$
 $\Delta\text{Cu}(\text{DPM})_2$
 $\Delta\text{Cu}(\text{HFA})_2$

薄膜を形成させる

窒化剤
 N_2
 N
 NH_3

基板

Si
 SiO_2
 GaAs
 GeP
 InP
 InAs
 他の半導体基板
 MgO
 Al_2O_3
 ガラス
 他の絶縁体基板
 金属
 プラスチック
 ポリマー
 ステンレス

【図36】

21.【窒化ニッケル】

薄膜を形成させる
金属化合物
 $\Delta\text{Ni}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$
 $\Delta\text{Ni}(\text{CH}_3\text{C}_2\text{H}_5)_2$
 ΔNiF_2
 ΔNiCl_2
 ΔNiBr_2
 ΔNiI_2
 ΔNiO
 $\Delta\text{Ni}_2\text{O}_3$
 ΔNiCO_2
 $\Delta\text{Ni}(\text{AcAc})_2$
 $\Delta\text{Ni}(\text{DPM})_2$
 $\Delta\text{Ni}(\text{HFA})_2$

薄膜を形成させる
窒化剤
 N_2
 N
 NH_3

基板

Si
 SiO_2
 GaAs
 GaP
 InP
 InAs
他の半導体基板
 MgO
 Al_2O_3
ガラス
他の絶縁体基板
金属
プラスチック
ポリマー
ステンレス

22.【窒化鉄】

薄膜を形成させる
金属化合物
 $\Delta\text{Fe}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$
 $\Delta\text{Fe}(\text{CH}_3\text{C}_2\text{H}_5)_2$
 ΔFeF_2
 ΔFeCl_2
 ΔFeBr_2
 ΔFeI_2
 ΔFeO
 $\Delta\text{Fe}_2\text{O}_3$
 $\Delta\text{Fe}_3\text{O}_4$
 $\Delta\text{Fe}(\text{AcAc})_2$
 $\Delta\text{Fe}(\text{DPM})_2$
 $\Delta\text{Fe}(\text{HFA})_2$
 ΔFeF_3
 ΔFeCl_3
 ΔFeBr_3
 $\Delta\text{Fe}(\text{OCH}_3)_3$
 $\Delta\text{Fe}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3$

薄膜を形成させる
窒化剤
 N_2
 N
 NH_3

基板

Si
 SiO_2
 GaAs
 GaP
 InP
 InAs
他の半導体基板
 MgO
 Al_2O_3
ガラス
他の絶縁体基板
金属
プラスチック
ポリマー
ステンレス

【図37】

23.【窒化マンガン】

薄膜を形成させる
金属化合物
 ΔMnO_2
 $\Delta\text{Mn}_2\text{O}_7$
 ΔMnF_2
 ΔMnCl_2
 ΔMnBr_2
 ΔMnI_2
 ΔMnO
 $\Delta\text{Mn}_2\text{O}_3$
 $\Delta\text{Mn}_3\text{O}_4$
 $\Delta\text{Mn}(\text{AcAc})_2$
 $\Delta\text{Mn}(\text{DPM})_2$
 $\Delta\text{Mn}(\text{HFA})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

薄膜を形成させる
窒化剤
 N_2
 N
 NH_3

基板

Si
 SiO_2
 GaAs
 GaP
 InP
 InAs
他の半導体基板
 MgO
 Al_2O_3
ガラス
他の絶縁体基板
金属
プラスチック
ポリマー
ステンレス

24.【窒化クロム】

薄膜を形成させる
金属化合物
 $\Delta\text{Cr}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$
 $\Delta\text{Cr}(\text{CH}_3\text{C}_2\text{H}_5)_2$
 ΔCrF_2
 ΔCrCl_2
 ΔCrBr_2
 $\Delta\text{CrO}_2\text{Cl}_2$
 $\Delta\text{Cr}_2\text{O}_3$
 ΔCrO_2
 $\Delta\text{Cr}(\text{AcAc})_2$
 $\Delta\text{Cr}(\text{DPM})_2$
 $\Delta\text{Cr}(\text{HFA})_2$
 ΔCrF_3
 ΔCrCl_3
 ΔCrBr_3

薄膜を形成させる
窒化剤
 N_2
 N
 NH_3

基板

Si
 SiO_2
 GaAs
 GaP
 InP
 InAs
他の半導体基板
 MgO
 Al_2O_3
ガラス
他の絶縁体基板
金属
プラスチック
ポリマー
ステンレス